

УДК 622.271(540):55.814 © И.В. Зеньков¹, Ле Хунг Чинь²,
Е.В. Кардашова³, Ю.А. Анищенко³, В.Н. Вокин⁴, М.Н. Скрипин¹, 2025

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(540):55.814 © I.V. Zenkov¹, Le Hung Trinh²,
E.V. Kardashova³, Yu.A. Anishchenko³, Vokin V.N.⁴, M.N. Skripin¹, 2025

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 угольных месторождениях в Федеративной Республике Германия по данным дистанционного зондирования Земли из космоса

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-1-113-116>

В статье представлены результаты исследования состояния открытых горных работ на угольных месторождениях на территории Германии. В ходе космического дистанционного мониторинга и аналитических расчетов выявлены количество и виды экскаваторов и отвалообразователей, работающих в угольных карьерах, а также определен суммарный годовой объем экскавации вскрышных пород и угля на исследуемой территории Германии. По результатам спутниковой съемки выявлен тренд в снижении объемов добычи угля в карьерах.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, угледобывающая промышленность, Германия, угольные месторождения, открытые горные работы, угольные карьеры, годовой объем добычи угля, горные и транспортные машины.

Для цитирования: Исследование открытых горных работ на угольных месторождениях в Федеративной Республике Германия по данным дистанционного зондирования Земли из космоса / И.В. Зеньков, Ле Хунг Чинь, Е.В. Кардашова и др. // Уголь. 2025;(1):113-116. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-1-113-116.

Abstract

The article presents the results of studying the state of surface mining operations at the coal deposits in Germany. Satellite remote sensing

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

КАРДАШОВА 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

ВОКИН В.Н.

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

СКРИПИН М.Н.

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

studies and analytical calculations revealed the number and types of mining excavators and overburden spreaders working in the coal pits, as well as determined the total annual volume of overburden and coal excavation within the surveyed territory of Germany. The results of satellite observations helped to identify a decreasing trend in the volumes of coal open-pit mining.

Keywords

Remote sensing, coal mining industry, germany, coal deposits, surface mining, coal pits, annual coal production, mining and haulage vehicles.

For citation

Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Kardashova E.V., Anishchenko Yu.A., Vokin V.N., Skripin M.N. A study of the surface mining operations at coal deposits in the Federal Republic of Germany based on Earth's remote sensing data. *Ugol*. 2025;(1):113-116. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-1-113-116.

ВВЕДЕНИЕ

В структуре добычи угля в угледобывающих странах Западной Европы лидирующее место принадлежит Федеративной Республике Германия. Основной объем добычи угля открытым способом сконцентрирован в районах с привязкой к городам Кельн, Лейпциг и Котбус. Изучение экономической географии и основ мировой экономики всегда было связано с исследованием размещения производительных сил в мировом формате, важнейшей частью которых является топливно-энергетический комплекс. 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. Эти исследования мы проводим с использованием космоснимков высокого разрешения, находящихся в свободном доступе. С появлением технологий дистанционного зондирования Земли спектр исследований значительно расширился, о чем свидетельствуют работы российских и зарубежных исследователей [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БУРОГО УГЛЯ

К настоящему времени, по данным космического мониторинга, на территории Германии явно выделяются три центра с работающими карьерами по добыче бурого угля и тепловыми станциями с угольной генерацией электроэнергии. Географически один из них находится в 20-27 км на запад от г. Кельна. В этом секторе работают три угольных карьера и восемь тепловых электростанций. В центральной части Германии с небольшим смещением на восток, в 13-27 км на юг от г. Лейпцига, бурый уголь добывают на стадии доработки запасов в четырех карьерах. В восточной части Германии, практически на границе с Польшей, на расстоянии до 50 км от г. Котбуса бурый уголь добывают в четырех карьерах для сжигания на трех тепловых электростанциях. Карьеры по добыче угля на территории Германии мало отличаются между собой конструкцией рабочих и нерабочих бортов, а также компоновкой логистических схем перемещения вскрышных пород на внутренние отвалы, а угля – на расходные поверхностные стационарные склады по ленточным конвейерам [10].

Горно-геологическое строение угольных пластов на территории Германии позволяет производить их вскрытие в местах выхода под наносы. На месторождениях мощность угольных пластов сложного строения изменяется от 30 до 80 м. Углы залегания угольных пластов в местах их выхода под наносы находятся в диапазоне 2-4°. По мере погружения пластов в угленосную толщу их залегание в недрах часто становится практически горизонтальным. В толще пластов имеются пород-

ные пропластки. Системы разработки угольных месторождений однобортные с параллельным или веерным перемещением рабочего борта. На выемке вскрышных пород и угля используют экскаваторы непрерывного действия – роторные и цепные в комплексе с ленточными конвейерами. По конвейерам вскрыша перемещается на породные отвалы, а уголь – на расходные прикарьерные склады или стационарные склады на промышленных площадках тепловых электростанций с прокладкой к ним железнодорожных путей с выходом на магистральные железные дороги.

По данным дистанционного мониторинга были выявлены следующие глобальные тенденции в инженерных решениях по конструкции рабочих и нерабочих бортов карьеров, в компоновке логистических схем перемещения вскрыши и угля в одиннадцати карьерах, работающих на территории Германии. Угол откосов рабочих бортов карьеров колеблется в районе 7°. Межступенные рабочие площадки имеют ширину до 200 м. На одном из флангов карьера один из двух нерабочих бортов используют для размещения стационарных конвейеров для транспортировки вскрышных пород и угля на поверхность. На другом фланге карьера, не задействованном в логистике карьерных грузопотоков, производят засыпку вскрышными породами нерабочего борта до уровня земной поверхности, т.е. на месте отработанного угольного пласта формируют внутренние отвалы. В карьерные выемки соседних отработанных карьеров из работающих карьеров по конвейерам перемещают вскрышные породы, засыпая первые до уровня земной поверхности [10].

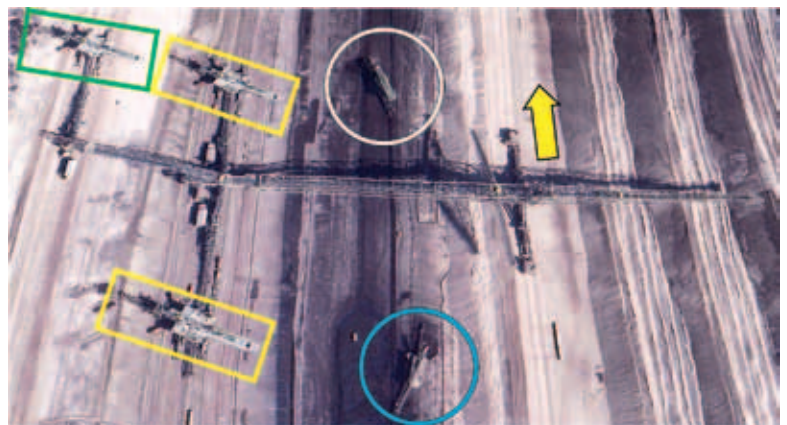
Всего по данным космической съемки установлено, что в угольных карьерах на территории Германии работают 62 экскаватора непрерывного действия. Эта совокупность состоит из роторных экскаваторов *SRs-6300* (10 ед.), *SRs-4000* (8 ед.), *SRs-2000* (15 ед.), *SRs-1050* (2 ед.), *SRs-470* (5 ед.), цепных экскаваторов на гусеничном ходу *ERs-710* (12 ед.) и цепных экскаваторов на железнодорожном ходу *Es-4500* (10 ед.). Отметим, что все цепные экскаваторы *Es-4500* работают на вскрышных работах в восточной части Германии в комплексе с транспортно-отвальными мостами в угольных карьерах с условными названиями Шпремберг, Хайнерсбрюк, Вайсвассер и Ричен. Конструктивно такие мосты позволяют перемещать вскрышные породы из карьера на внутренние отвалы по кратчайшему расстоянию. Общая длина фермы моста и отвальной консоли с встроенными в его конструкцию ленточными конвейерами составляет 500 м [10].

Главной особенностью размещения вскрышных пород в ходе добычи угля открытым способом на территории Германии является их перемещение только в выработанное пространство действующих или отработанных карьеров. При этом за пределами карьеров вскрышные породы не отсыпают. На отсыпке отвалов установлено 22 отвалообразователя на гусеничном ходу, вскрышные породы к которым перемещают по ленточным конвейерам. Перемещение вскрышных пород и угля из карьеров производится по забойным, стационарным и отвальным ленточным конвейерам с шириной ленты 2,5 м. Общая

протяженность ленточных конвейеров на перемещении вскрышных пород равна 262,5 км, аналогичный показатель для угля составляет 165,7 км. Эти показатели определены для всех работающих карьеров.

В ходе исследования горнотранспортного оборудования в карьерах на территории Германии наше внимание было обращено на оригинальное решение немецких инженеров в создании и многолетней эксплуатации транспортно-отвальных мостов для перемещения вскрышных пород. Отметим, что в мировой угледобывающей промышленности работают только четыре таких моста в восточной части Германии. Транспортно-отвальный мост в работе с тремя цепными экскаваторами на рельсовом ходу в угольном карьере Вайсвассер представлен на *рисунке*. Расстояние между осями двух цепных экскаваторов на железнодорожном ходу *Es-4500* (обведены линиями желтого цвета), перемещающихся на одном уровне с мостом, составляет 260 м. Эти экскаваторы отработывают нижним и верхним черпанием два смежных по вертикали вскрышных уступа высотой 25 м каждый. Еще один уступ, расположенный выше этих уступов, отработывает третий аналогичный цепной экскаватор верхним черпанием.

Мост отсыпает вскрышные породы во внутренний отвал полосой шириной 180 м. Расстояние между соседними гребнями трех основных насыпей составляет 70-80 м. Между каждыми двумя соседними основными насыпями мост отсыпает еще четыре промежуточные насыпи. Расстояние между гребнями четырех промежуточных насыпей составляет 8-10 м. Последняя от моста основная насыпь имеет высоту 30 м, а две ближних – не менее 18 м. Направление движения моста показано стрелкой (*см. рисунок*). В карьере в этот же момент рядом с вскрышным оборудованием на выемке угля работали один роторный экскаватор *SRs-2000* и один цепной экскаватор *ERs-710*. Ширина заходки цепного экскаватора (в кольце синего цвета) равна 30 м, а роторного (в кольце белого цвета) – 25 м. При использовании вскрышных комплексов с транспортно-отвальными мостами в период с 2000 по 2024 г. достигнута постоянная скорость подвигания рабочего борта карьера на уровне 450 м в год.



Транспортно-отвальный мост в комплексе с цепными экскаваторами *Es-4500* в угольном карьере Вайсвассер (на снимке из космоса)

The overburden conveying bridge in combination with the Es-4500 chain-bucket excavators in the Weisswasser coal mine (a satellite image)

Кроме изучения горных и транспортных машин в угольных карьерах по данным космического мониторинга выявлены границы карьерных полей, добыча угля в пределах которых возможна на протяжении 5-7 лет. Вместе с тем запасы угля вблизи г. Лейпцига будут отработаны в ближайшие 3-5 лет. В целом выявленные тренды в области добычи угля открытым способом на территории Германии лишь частично соответствуют основным положениям резолюций ООН в области улучшения климата на Земле [11, 12, 13].

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 одиннадцати карьерах в Германии. С учетом особенностей горно-геологического строения месторождений бурого угля, моделей и количества работающих экскаваторов непрерывного действия на вскрышных и добычных работах, а также понимания их производительности определены объемы выемки и перемещения вскрышных пород и угля из недр. Общий годовой технологически возможный объем вскрышных работ, по нашей оценке, выполняемый во всех угольных карьерах на территории Германии, равен 565 млн т, а объем добываемого угля при этом составляет 160 млн т. Эти два показателя находятся в прямой зависимости от спроса на уголь в условиях глобального перехода европейских стран на источники «зеленой энергетики».

Список литературы • References

1. Швецов Е.Г. Спутниковый мониторинг послепожарной динамики нормализованного индекса гарей в лесах юга Средней Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 4. С. 176-187. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-176-187.
Shvetsov E.G. Satellite monitoring of post-fire Normalized Burn Ratio dynamics in forests in the south of Central Siberia. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2024;21(4):176-187. (In Russ.). DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-176-187.
2. Zenkov I.V., Morin A.S., Vokin V.N., Kiryushina E.V. Determination results on potential production of open pit mines at cement raw material deposits in Russian regions by satellite remote sensing data. *Eurasian mining*. DOI: 10.17580/em.2021.02.05.
3. Ahmed R., Zafor M.A., Trachte K. Land-Use and Land-Cover Changes in Cottbus City and Spree-Neisse District, Germany, in the Last Two Decades: A Study Using Remote Sensing Data and Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 2024;16(15):2773. <https://doi.org/10.3390/rs16152773>.
4. He J., Riley D.N., Barton I. Is Endmember Extraction a Critical Step in the Analysis of Hyperspectral Images in Mining Environments? *Remote Sensing*. 2024;16(12):2137. <https://doi.org/10.3390/rs16122137>.
5. Fonseca A., Marshall M.T., Salama S. Enhanced Detection of Artisanal Small-Scale Mining with Spectral and Textural Segmentation of Landsat Time Series. *Remote Sensing*. 2024;16(10):1749. <https://doi.org/10.3390/rs16101749>.
6. Ding C., Feng G., Xiong Z., Zhang L. Ground Subsidence, Driving Factors, and Risk Assessment of the Photovoltaic Power Generation

- and Greenhouse Planting (PPG&GP) Projects in Coal-Mining Areas of Xintai City Observed from a Multi-Temporal InSAR Perspective. *Remote Sensing*. 2024;16(6):1109. <https://doi.org/10.3390/rs16061109>.
7. Nogueira P., Silva M., Roseiro J., Potes M., Rodrigues G. Mapping the Mine: Combining Portable X-ray Fluorescence, Spectroradiometry, UAV, and Sentinel-2 Images to Identify Contaminated Soils – Application to the Mostardeira Mine (Portugal). *Remote Sensing*. 2023;15(22):5295. <https://doi.org/10.3390/rs15225295>.
 8. 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.
 9. Исследование влияния геотехнологий на результаты лесной рекультивации на породных отвалах угольных карьеров в Кемеровской области с использованием информационных ресурсов космического мониторинга / В.Н. Вокин, И.В. Зеньков, Ле Хунг Чинь и др. // Уголь. 2024;(6):114-118. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-114-118.
Vokin V.N., Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Yuronen Yu.P., Kiryushina E.V., Cherepanov E.V., Raevich K.V., Latyntsev A.A., Pavlova P.L., Kuzina L.N., Lunev A.S., Magnilets Yu.A., Sizova T.N. Research into the influence of geotechnologies on the results of forest-based reclamation of the rock dumps at coal pits in the Kemerovo region using space monitoring data resources. *Ugol*. 2024;(6):114-118. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-114-118.
 10. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com/earth/> (accessed 15.12.2024).
 11. <https://www.un.org/ru/climatechange/climate-ambition-summit>.
 12. <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/un-environment-assembly-advances-collaborative-action-triple>.
 13. <https://digitallibrary.un.org/record/3794317?ln=en&v=pdf>.

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

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

Anishchenko Yu.A. – PhD (Engineering), 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

Skripin M.N. – Mining engineer, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 25.11.2024

Поступила после рецензирования: 16.12.2024

Принята к публикации: 26.12.2024

Paper info

Received November 25, 2024

Reviewed December 16, 2024

Accepted December 26, 2024