

# Исследование добычи угля открытым способом в Скалистых горах (США) с использованием ресурсов дистанционного зондирования Земли\*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-38-41>

## **ЗЕНЬКОВ И.В.**

Доктор техн. наук, профессор  
Сибирского федерального университета,  
профессор Сибирского государственного университета  
науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва,  
660037, г. Красноярск, Россия,  
e-mail: zenkoviv@mail.ru

## **ЧИНЬ ЛЕ ХУНГ**

Канд. техн. наук, доцент  
Технического университета им. Ле Куй Дон,  
000084, г. Ханой, Вьетнам

## **ГАНИЕВА И.А.**

Доктор экон. наук,  
главный научный сотрудник  
Федерального научного центра аграрной  
экономики и развития сельских территорий,  
123007, г. Москва, Россия

## **ЮРКОВСКАЯ Г.И.**

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

## **ГИЛЬЦ Н.Е.**

Канд. экон. наук, доцент  
Сибирского государственного университета  
науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва,  
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

## **РАЕВИЧ К.В.**

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

## **ВЕРЕТЕНОВА Т.А.**

Доцент  
Сибирского федерального университета,  
660041, г. Красноярск, Россия

В статье представлены результаты исследования состояния открытых горных работ на угольных месторождениях в штатах Вайоминг, Колорадо и Нью-Мексико на территории Скалистых гор в США. В ходе дистанционного мониторинга и аналитических расчетов выявлено количество горных и транспортных машин, работающих в угольных карьерах, а также определен годовой объем добычи угля на территории каждого штата. По результатам спутниковой съемки и аналитических расчетов выявлен суммарный (75 млн т угля в год) производственный потенциал угледобывающих предприятий.

**Ключевые слова:** Соединенные Штаты Америки, Скалистые горы, открытые горные работы, производственный потенциал, горные и транспортные машины, дистанционное зондирование Земли, дистанционный мониторинг.

**Для цитирования:** Исследование добычи угля открытым способом в Скалистых горах (США) с использованием ресурсов дистанционного зондирования Земли / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, И.А. Ганиева и др. // Уголь. 2021. № 10. С. 38-41. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-38-41.

## **ВВЕДЕНИЕ**

К настоящему времени в США значительная доля электрической энергии вырабатывается при сжигании бурого и каменного угля на тепловых станциях. По нашей оценке, на территории США выделяются четыре центра добычи угля: центральные штаты (Вайоминг, Монтана и Северная Дакота) с производством открытых горных работ; штаты в восточном секторе страны (Иллинойс, Индиана, Огайо, Кентукки, Пенсильвания, Западная Вирджиния, Вирджиния и Алабама), где уголь добывают в карьерах и в шахтах; штат Техас (добыча угля открытым способом); штаты Вайоминг (юго-западный сектор), Колорадо и Нью-Мексико (территория Скалистых гор). В открытых источниках, присутствующих в глобальной сети, размещено множество противоречивой информации о мировой горнодобывающей промышленности. По нашему мнению, максимально объективными и достоверными источниками являются ресурсы дистанционного зондирования Земли. Наша научно-практическая школа на очередном этапе исследовала широкий спектр показателей угледобывающего

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

центра на территории Скалистых гор в западном секторе США с использованием космических снимков высокого разрешения, находящихся в свободном доступе. Отметим, что во второй половине XX в. на территории Кордильер и Скалистых гор началось бурное развитие горнодобывающей промышленности, автоматически требующее увеличения объемов выработки электрической энергии. Наиболее приемлемой стратегией явилось строительство угольных карьеров и тепловых станций. Наши исследования объектов открытой угледобычи проведены в секторе, ограниченном многоугольником с вершинами в точках с координатами: 41°50'58.35"С, 110°42'12.05"З; 41°52'22.86"С, 108°34'58.52"З; 40°12'25.01"С, 107°53'57.47"З; 40°26'43.64"С, 107°29'12.47"З; 36°34'11.72"С, 108°35'39.48"З; 35°25'14.71"С, 107°48'38.57"З [1].

Отметим, что сфера использования технологий дистанционного зондирования Земли из космоса постоянно расширяется, о чем свидетельствуют работы, частично представленные в [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

### ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Горно-геологическое строение разрабатываемых угольных месторождений имеет схожие характеристики: залегание угольных пластов горизонтальное или слабопологое. Месторождения находятся в межгорных впадинах с горизонтальным или пологим рельефом. Мощность пластов варьирует в широком диапазоне от 10 до 20 м. Наугольная толща горных пород состоит из двух слоев: первый от земной поверхности – слой рыхлых горных пород четвертичного возраста мощностью до 30 м разрабатывается погрузчиками на автомобильном шасси и самоходными скреперами. Второй от поверхности слой крепких песчаников, расположенный между угольным пластом и породами четвертичного возраста, мощностью 40-50 м разрабатывают драглайнами с перевалкой в выработанное пространство карьеров. Экскавация песчаников производится после рыхления буровзрывным способом.

Основной объем вскрышных пород размещают драглайнами на место отработанного угольного пласта. В период горно-строительных работ вскрышные породы размещают во внешних отвалах. На выемке угольных пластов используют в основном мехлопаты, гидравлические экскаваторы или погрузчики на автомобильном шасси. Добытый уголь вывозят на поверхностные склады. Далее его транспортируют до тепловых станций в углевозах, магистральных автомобильных полуприцепах грузоподъемностью 40 т или в железнодорожных вагонах.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ЮГО-ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ ШТАТА ВАЙОМИНГ

На территории этого штата уголь добывают в его юго-западном секторе в одной из межгорных впадин. Длинная ось этого межгорного понижения протяженностью 55 км имеет в плане форму запятой. Ширина впадины колеблется от 3 до 4 км. Преобладающие высотные отметки находятся в диапазоне 2080-2150 м над уровнем моря. В этой местности угольные месторождения масштабно начали разрабатывать с начала 1970-х годов [1].

Уголь добывают в 13 карьерах с общей протяженностью фронта горных работ 30685 м. Карьерные поля отрабатывают блоками протяженностью по верхнему уступу от 400 до 1900 м. Более половины блоков находятся в нерабочем затопленном состоянии. На бурении взрывных скважин задействовано восемь буровых станков (аналоги российских СБШ-250). Бурение взрывных скважин производят по диагональной сетке с размерами 9×10 м. На вскрышных работах установлено четыре драглайна с длиной стрелы 100 м и вместимостью ковша 90 куб. м. Также на выемке вскрышных пород работают восемь самоходных скреперов с вместимостью ковша 18 куб. м. В составе экскаваторно-автомобильных комплексов работают: одна мехлопата с вместимостью ковша 18 куб. м, четыре гидравлических экскаватора типа «обратная лопата» с вместимостью ковша 12 куб. м, один гидравлический экскаватор типа «прямая лопата» с вместимостью ковша 16 куб. м, девять погрузчиков на автомобильном шасси с вместимостью ковша 12 куб. м. На вскрышных и вспомогательных работах используют мощные бульдозеры *Caterpillar D11T* в количестве 23 ед. Вывозку горной массы из забоев осуществляют 32 автосамосвала грузоподъемностью 120-180 т. Дальность транспортировки вскрышных пород – не более 2 км, расстояние транспортировки угля находится в более широком диапазоне – от 1 до 11 км. По нашим расчетам, суммарный объем горной массы составляет 220 млн т в год. В этом объеме годовая добыча угля находится на уровне 30 млн т.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ШТАТЕ КОЛОРАДО

На территории штата уголь добывают в его северо-западном секторе в межгорье на двух разрозненных участках с горизонтальным рельефом. Преобладающие высотные отметки находятся в диапазоне 2220-2400 м над уровнем моря. В этой местности угольные месторождения масштабно начали разрабатывать также с начала 1970-х годов [1]. В двух карьерах в разработке находятся два угольных пласта.

Уголь добывают в трех карьерах с общей протяженностью фронта горных работ 4400 м. На бурении взрывных скважин задействовано шесть буровых станков (аналоги российских СБШ-250). Бурение взрывных скважин производят по диагональной сетке с размерами 5×5,5 м (угольный пласт) и 7,5×7,5 м (вскрышные породы). На вскрышных работах установлено три драглайна с длиной стрелы 100 м и вместимостью ковша 90 куб. м. Также на выемке вскрышных пород работают четыре самоходных скрепера с вместимостью ковша 18 куб. м. В составе экскаваторно-автомобильных комплексов работают: одна мехлопата с вместимостью ковша 20 куб. м, три гидравлических экскаватора типа «обратная лопата» с вместимостью ковша 10 куб. м, один гидравлический экскаватор типа «прямая лопата» с вместимостью ковша 20 куб. м, семь погрузчиков на автомобильном шасси с вместимостью ковша 12 куб. м. На вскрышных и вспомогательных работах используют мощные бульдозеры *Caterpillar D11T* в количестве 11 ед. Вывозку горной массы из забоев осуществляют 20 автосамосвалов грузоподъемностью 220 т. На вывозке угля из расходных

поверхностных складов до тепловых станций используют 10 углевозов с донной разгрузкой грузоподъемностью 180 т. Дальность транспортировки вскрышных пород – не более 1 км, расстояние транспортировки угля находится в диапазоне от 5 до 7,5 км. По нашим расчетам, суммарный объем горной массы составляет 180 млн т в год. В этом объеме годовая добыча угля находится на уровне 20 млн т.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ЮГО-ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ ШТАТА НЬЮ-МЕКСИКО

На территории этого штата уголь добывают в его северо-западном секторе в двух межгорных впадинах, в одной из которых высотные отметки находятся в диапазоне 1650-1680 м, а в другой – в диапазоне 2120-2160 м над уровнем моря. В этой местности угольные месторождения масштабно начали разрабатывать в одной из впадин с начала 1970-х годов, а в другой – с середины 1980-х годов [1].

Уголь добывают в пяти карьерах с общей протяженностью фронта горных работ 12680 м. Карьерные поля отрабатывают в основном блоками протяженностью по верхнему уступу от 550 до 1560 м. Половина блоков находится в нерабочем затопленном состоянии. На бурении взрывных скважин задействовано шесть буровых станков (аналоги российских СБШ-250). Бурение взрывных скважин производят по диагональной сетке с размерами 8×9 м. На вскрышных работах установлено три драглайна с длиной стрелы 100 м и вместимостью ковша 90 куб. м. Также на выемке вскрышных пород работают четыре самоходных скрепера с вместимостью ковша 18 куб. м. В составе экскаваторно-автомобильных комплексов работают три мехлопаты с вместимостью ковша 24 куб. м, восемь погрузчиков на автомобильном шасси с вместимостью ковша 12 куб. м. Выемку нижних пачек угля производят двумя фрезерными комбайнами. На вскрышных и вспомогательных работах используют мощные бульдозеры *Caterpillar D11T* в количестве 12 ед. Вывозку горной массы из забоев осуществляют 16 автосамосвалов грузоподъемностью 220 т, а угля – в углевозах с донной разгрузкой (14 ед.). Дальность транспортировки вскрышных пород – не более 1 км, а расстояние транспортировки угля находится в более широком диапазоне – от 3 до 6,5 км. По нашим расче-

там, суммарный объем горной массы, перерабатываемой в карьерах, составляет 185 млн т в год. В этом объеме годовая добыча угля находится на уровне 25 млн т.

### ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ США В СКАЛИСТЫХ ГОРАХ

Всего на исследуемой территории работает 21 карьер с общей протяженностью фронта горных работ 47765 м. Отметим, что здесь добычу угля производят также подземным способом при вскрытии пластов штольнями. Всего в подземной разработке, по данным спутниковой съемки, находятся 16 разрозненных участков угольных месторождений.

В карьерах на бурении скважин работают 20 буровых станков. На вскрышных работах установлено 10 драглайнов с вместимостью ковша 90 куб. м и длиной стрелы 100 м. На выемке горных пород используют мехлопаты (5 ед.) с вместимостью ковша до 24 куб. м и гидравлические экскаваторы в количестве 9 ед. На выемке рыхлых вскрышных пород и транспортировке их на отвалы используют 16 самоходных скреперов с вместимостью ковша 18 куб. м. На выемке угля задействовано два фрезерных комбайна. На погрузочных работах используют 24 фронтальных погрузчика на автомобильном шасси с вместимостью ковша 12 куб. м. Горную массу (вскрыша + уголь) транспортируют в основном в карьерных автосамосвалах (68 ед.) грузоподъемностью от 120 до 220 т. На вывозке угля также используют углевозы с донной разгрузкой в количестве 24 ед. На вскрышных и вспомогательных работах используют мощные бульдозеры *Caterpillar D11T* в количестве 46 ед. [1].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексная оценка производственного потенциала угледобывающей отрасли, основанная на информационных ресурсах дистанционного зондирования Земли и результатах аналитических расчетов, позволила определить суммарный годовой объем добычи угля на исследуемой территории трех штатов США на уровне 75 млн т. При этом необходимый объем вскрышных пород должен выполняться на уровне не менее 510 млн т.

**Список литературы – см. References.**

Original Paper

ABROAD

UDC 622.271(73):550.814 © I.V. Zenkov, Trinh Le Hung, I.A. Ganieva, G.I. Yurkovskaya, N.E. Gilts, V.N. Vokin, E.V. Kiryushina, K.V. Raevich, T.A. Veretenova, 2021  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 10, pp. 38-41  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-38-41>

#### Title

**A STUDY OF SURFACE COAL MINING IN THE ROCKY MOUNTAINS (USA) USING REMOTE SENSING TECHNOLOGIES**

#### Authors

Zenkov I.V.<sup>1,2</sup>, Trinh Le Hung<sup>3</sup>, Ganieva I.A.<sup>4</sup>, Yurkovskaya G.I.<sup>2</sup>, Gilts N.E.<sup>2</sup>, Vokin V.N.<sup>1</sup>, Kiryushina E.V.<sup>1</sup>, Raevich K.V.<sup>1</sup>, Veretenova T.A.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

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

<sup>4</sup> Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas, Moskva, 123007, Russian Federation

#### Authors Information

**Zenkov I.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
e-mail: zenkoviv@mail.ru

**Trinh Le Hung**, PhD (Engineering), Associate Professor  
**Ganieva I.A.**, Doctor of Economic Sciences, Chief Scientific Officer  
**Yurkovskaya G.I.**, PhD (Economic), Associate Professor

**Gilts N.E.**, PhD (Economic), Associate Professor  
**Vokin V.N.**, PhD (Engineering), Professor  
**Kiryushina E.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor  
**Raevich K.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor  
**Veretenova T.A.**, Associate Professor

#### Abstract

The paper presents the results of a study into the conditions of open-pit coal mining in the states of Wyoming, Colorado and New Mexico in the Rocky Mountain region of the United States. 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 coal production in each state. Satellite imagery and analytical calculations reveal the total (75 million tonnes of coal per year) production potential of the coal mining companies.

#### Keywords

United States of America, Rocky Mountains, Surface and underground mining, Production potential, Mining and transport vehicles, Remote sensing of the Earth, Remote monitoring.

#### References

1. Google Earth. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com/earth/> (accessed 15.09.2021).
2. Adam Belmonte, Temuulen Sankey, Joel A. Biederman et al. UAV-derived estimates of forest structure to inform ponderosa pine forest restoration. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2020, Vol. 6(2), pp. 181-197.
3. Zachary J. Ruff, Damon B. Lesmeister, Leila S. Duchac et al. Automated identification of avian vocalizations with deep convolutional neural networks. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2020, Vol. 6(1), pp. 79-92.
4. Anne Mouget, Chloé Goulon, Thomas Axenrot et al. Including 38 kHz in the standardization protocol for hydroacoustic fish surveys in temper-

ate lakes. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2019, Vol. 5(4), pp. 332-345.

5. Sidney A. Gauthreaux Jr, Ann-Marie Shapiro, Dave Mayer et al. Detecting bird movements with L-band avian radar and S-band dual-polarization Doppler weather radar. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2019, Vol. 5(3), pp. 237-246.

6. Lisa M. Wedding, Stacy Jorgensen, Christopher A. Lepczyk et al. Remote sensing of three-dimensional coral reef structure enhances predictive modeling of fish assemblages. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2019, Vol. 5(2), pp. 150-159.

7. Phillip M. Stepanian, Djordje Mirkovic, Phillip B. Chilson. A polarimetric Doppler radar time-series simulator for biological applications. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2018, Vol. 4(4), pp. 285-302.

8. Alexej P.K. Sirén, Marcelo Somos-Valenzuela, Catherine Callahan et al. Looking beyond wildlife: using remote cameras to evaluate accuracy of gridded snow data. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2018, Vol. 4 (4), pp. 375-386.

#### Acknowledgements

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

#### For citation

Zenkov I.V., Trinh Le Hung, Ganieva I.A., Yurkovskaya G.I., Gilts N.E., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Raevich K.V. & Veretenova T.A. A study of surface coal mining in the Rocky Mountains (USA) using remote sensing technologies. *Ugol'*, 2021, (10), pp. 38-41. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-38-41.

#### Paper info

Received June 7, 2021

Reviewed August 10, 2021

Accepted September 15, 2021

## Разработка стартапа цифровой платформы горнодобывающей промышленности России с использованием информационных ресурсов дистанционного зондирования Земли из космоса: монография

/ И.В. Зеньков (руководитель проекта), Ю.П. Юронен, А.А. Лукьянова, Ю.А. Анищенко, М.В. Сафронов, Е.М. Сычева, В.Н. Вокин, Е.В. Кирюшина.

Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. 816 с.

(Серия: «Горнодобывающая промышленность России из космоса»).

ISBN 978-5-7638-4530-3 (отд. кн.); ISBN 978-5-7638-4366-8

© Сибирский государственный университет науки и технологий имени М.Ф. Решетнёва, Сибирский федеральный университет, 2021

**В монографии представлены** результаты исследования совокупного производственного потенциала горнодобывающих предприятий, работающих на месторождениях твердых полезных ископаемых на территории РФ. Впервые для горнодобывающей промышленности определены объемы потребления основных расходных материалов и ремонтных услуг, потребности в кадровом обеспечении, а также составлен прогнозный сценарий замещения горнотранспортного оборудования с определением количественных показателей. Наглядно продемонстрирована возможность формирования информационной рыночной среды в виде цифровой платформы горнодобывающей промышленности с преимущественным использованием информационных ресурсов спутниковой съемки. Информация, изложенная в монографии, может быть применена в разработке стратегической программы развития горнодобывающей отрасли российской экономики.

**Монография предназначена** для специалистов, работающих в рамках научно-практического направления «Цифровая экономика», собственников и менеджмента горнодобывающих предприятий и машиностроительных корпораций, поставщиков товарно-материальных ценностей и кадров для горнодобывающей отрасли России, преподавателей и учащихся вузов по направлениям подготовки «Горное дело», «Экономика и управление народным хозяйством», «Мировая экономика», «Экономическая география».

Заказать книгу можно в Библиотечно-издательском комплексе  
 Сибирского федерального университета по тел.: +7 (391) 206-26-16

### КНИЖНАЯ НОВИНКА



Серия:  
**«Горнодобывающая промышленность России из космоса»**  
 Основана в 2017 г.  
 Научный руководитель и руководитель проекта:  
 Зеньков Игорь Владимирович, Заслуженный эколог РФ, Почетный работник науки и техники РФ, горный инженер, доктор техн. наук, профессор по научной специальности «Экономика и управление народным хозяйством».