

Исследование открытых горных работ на угольных месторождениях в центральной части США по данным дистанционного зондирования*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-53-57>

В статье представлены результаты исследования состояния открытых горных работ на угольных месторождениях штатов Монтана, Вайоминг, Северная Дакота в США. 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 увеличения объемов открытой угледобычи на исследуемой территории США.

Ключевые слова: Соединенные Штаты Америки, штаты Монтана, Вайоминг, Северная Дакота, угольные месторождения, открытые горные работы, угольные карьеры, горные и транспортные машины, дистанционное зондирование Земли.

Для цитирования: Исследование открытых горных работ на угольных месторождениях в центральной части США по данным дистанционного зондирования / И.В. Зеньков, Чинь Ле Хунг, Е.В. Логинова и др. // Уголь. 2021. № 2. С. 53-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-53-57.

ВВЕДЕНИЕ

В структуре мировой добычи угля одно из лидирующих мест принадлежит Соединенным Штатам Америки. Основной объем добычи угля открытым способом сконцентрирован в трех штатах (Монтана, Вайоминг и Северная Дакота) в центральной части Североамериканского континента. Изучение экономической географии и основ мировой экономики всегда было связано с изучением размещения производительных сил в мировом формате, важнейшей частью которых является топливно-энергетический комплекс. Изучать мировые центры горной промышленности можно по информации, представляемой в научной литературе, в интернет-источниках. При этом степень достоверности фактического состояния той или иной отрасли

ЗЕНЬКОВ И.В.,

доктор техн. наук, профессор
Сибирского федерального университета,
профессор Сибирского государственного университета
науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва,
ведущий научный сотрудник
Федерального исследовательского центра
информационных и вычислительных технологий,
660041, г. Красноярск, Россия, e-mail: zenkoviv@mail.ru

ЧИНЬ ЛЕ ХУНГ,

канд. техн. наук, доцент
Технического университета им. Ле Куи Дон,
11355, г. Ханой, Вьетнам

ЛОГИНОВА Е.В.,

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

ЛАТЫНЦЕВ А.А.,

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

ВЕРЕТЕНОВА Т.А.,

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

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

ли горной промышленности будет существенно различаться. 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 из космоса спектр исследований значительно расширился, о чем свидетельствуют работы российских и зарубежных исследователей [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. По нашему мнению, эта тематика не потеряет своей актуальности в ближайшее десятилетие.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ШТАТЕ МОНТАНА

На территории штата Монтана мы выделили три центра открытой угледобычи с координатами на местности $45^{\circ}46'59''\text{с.}$ и $107^{\circ}02'27''\text{з.}$, $45^{\circ}51'30''\text{с.}$ и $106^{\circ}52'16''\text{з.}$, $45^{\circ}05'15''\text{с.}$ и $106^{\circ}52'16''\text{з.}$ [13] По снимкам из космоса установлено, что угольные пласты мощностью до 25 м залегают горизонтально или с небольшими углами наклона в пределах $2-3^{\circ}$. Толща горных пород, покрывающих угольные пласты, состоит из двух слоев: верхний слой рыхлых отложений из горных пород четвертичного возраста, представленных глинами, суглинками, песками и другими отложениями, имеет мощность до 15 м. Между этим слоем и угольным пластом находятся крепкие песчаники мощностью до 40 м, перед выемкой которых необходимо их рыхление с использованием буровзрывного способа. Отметим, что горно-геологическое строение угольных месторождений в двух других штатах отличается от вышеописанного в сторону увеличения мощности толщи вскрышных пород.

Добыча угля производится на 12 карьерах. Суммарная протяженность фронта добычных работ составляет 37500 м. Выемка угольного пласта производится блока-

ми протяженностью от 600 до 900 м. Половина выемочных блоков находится в затопленном состоянии. В карьерах с небольшой протяженностью фронта горных работ перемещение горной массы производят в карьерных автосамосвалах грузоподъемностью до 360 т. В карьерах, где расстояние между флангами более 2-х км, на вскрышных работах используют драглайны на перевалке пород в выработанное пространство. Рабочие параметры драглайнов сопоставимы с драглайном ЭШ-100/100, работавшим во времена СССР на Назаровском угольном разрезе в Красноярском крае.

Драглайны вскрывают угольный пласт шириной до 90 м за одну заходку. Мехлопаты с канатным приводом рабочего оборудования и гидравлические экскаваторы с вместимостью ковша в диапазоне 30-40 куб. м работают на выемке вскрышных пород в торцах карьера и на экскавации той толщи вскрышных пород, которая по технологическим параметрам не входит в вертикальную зону работы драглайнов. Аналогичными экскаваторами производится выемка угля. Рабочие параметры этих экскаваторов позволяют производить выемку угля одним уступом. В угольных карьерах в этом штате на транспортировке угля используют углевозы с донной разгрузкой грузоподъемностью 240 т и классические автосамосвалы грузоподъемностью до 360 т. Фрагмент выполнения вскрышных работ на опережающем уступе и добычных работ представлен на *рис. 1* [13].

На *рис. 1* в кольце красного цвета мехлопата отгружает песчаники из развала, созданного взрывными работами. Высота забоя экскаватора не менее 20 м. Кольцами оранжевого цвета обведены автосамосвалы грузоподъемностью 240 т,двигающиеся на погрузку к экскаватору. В кольце синего цвета поливочная машина с емкостью водяного бака 80 куб. м через четыре форсунки производит увлажнение технологической автодороги. В кольцах зеленого цвета находятся бульдозеры Caterpillar D11T со сферическими отвалами. Ниже уровня установки вскрышной мехлопаты по вертикали геологического строения месторождения находится слой крепких песчаников серого цвета, покрывающий угольный пласт. Этот слой впоследствии,



Рис. 1. Фрагмент космоснимка вскрышных и добычных работ в угольном карьере на территории штата Монтана (США)

после его рыхления буровзрывным способом, будет перевален в выработанное пространство карьера драглайном.

В нижней части *рис. 1* в кольце желтого цвета мехлопата с вместимостью ковша 40 куб. м отгружает уголь из развала в автосамосвал грузо-подъемностью 360 т. Высота добычного экскаваторного забоя – не менее 22 м.

Направление движения экскаваторов в ходе отработки вскрышного и добычного уступов показано на *рис. 1* стрелками. В кольце белого цвета находится погрузчик на автомобильном шасси для выемки нижней пачки угля и недоборов от мехлопаты в приоткосной части экскаваторного забоя.

Расстояние транспортировки угля до пяти стационарных углепогрузочных складов и до тепловой станции с четырьмя энергоблоками общей мощностью 2600 МВт составляет 3-3,5 км. Уголь отгружают в железнодорожные составы из трех мощных магистральных тепловозов (два – в голове состава и один – в хвосте) и 114-120 вагонов. Общая масса угля в составе – 9000 т. Одновременная погрузка составов может производиться на пяти территориально рассредоточенных складах, оборудованных накопительными емкостями силосного типа. Железнодорожные пути, уложенные вдоль силосных башен, имеют в плане форму петли, что обеспечивает непрерывную подачу поездов под погрузку и их сквозное движение. Все это способствует наивысшей производительности погрузочно-транспортных работ и достижению максимальных логистических показателей железнодорожного транспорта [13].

В угольных карьерах работает следующий парк горнотранспортного оборудования: 10 буровых станков, 9 драглайнов с ковшом вместимостью 100 куб. м и длиной стрелы 100 м, 11 гусеничных одноковшовых карьерных экскаваторов с вместимостью ковша в диапазоне от 20 до 40 куб. м, 27 углевозов и 38 карьерных автосамосвалов. На выемке угля используют шесть погрузчиков на автомобильном шасси с вместимостью ковша 20 куб. м. По нашей оценке, технологически и технически возможный суммарный годовой объем добычи угля на карьерах на территории штата Монтана составляет 85 млн т. Годовой объем вскрышных работ выполняется в объеме не менее 195 млн т.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ШТАТЕ ВАЙОМИНГ

На территории штата Вайоминг добыча угля производится на 25 карьерах в полосе шириной 16-25 км и протяженностью с севера на юг 115 км с координатами вершин на местности 44° 29' 36"с. и 105° 36' 38"з., 44° 29' 48"с. и 105° 23' 45"з., 43° 26' 22"с. и 105° 25' 48"з., 43° 26' 45"с. и 105° 07' 57"з. Рельеф местности, на которой производится разработка угольных месторождений, – пологий с высотными отметками в диапазоне 1250-1500 м.

Суммарная протяженность фронта добычных работ составляет 79320 м. Выемка угольного пласта производится блоками протяженностью от 670 до 1800 м. В одном из ка-



Рис. 2. Фрагмент космоснимка горных работ по вскрытию угольного пласта в карьере на территории штата Вайоминг (США)

рьеров протяженность фронта работ по добычному уступу составляет 14,5 км. Менее половины выемочных блоков находятся в затопленном состоянии. Горные работы в карьерах этого штата производятся по аналогии с их производством в штате Монтана. В карьерах с небольшой протяженностью фронта горных работ перемещение вскрышных пород и угля производят карьерными автосамосвалами грузо-подъемностью до 360 т и в автоуглевозах грузо-подъемностью 240 т. В карьерах, где расстояние между флангами более 1,5 км, на вскрышных работах используют драглайны с длиной стрелы 100 м и вместимостью ковша 100 куб. м для перевалки пород в выработанное пространство карьера.

Рассмотрим технологические аспекты производства вскрышных работ в одном из угольных карьеров на территории штата Вайоминг (*рис. 2*) [13].

В левой части *рис. 2* мы видим горнотранспортное оборудование, работающее на передовом вскрышном уступе. В момент получения снимка из космоса мехлопата (в кольце красного цвета) находится с поднятой рукоятью с полным ковшом в ожидании порожнего автосамосвала. К экскаватору под погрузку задним ходом движется автосамосвал (в этом же кольце). В кольце желтого цвета находится порожний автосамосвал. Грузеный автосамосвал, движущийся в направлении породного отвала, обведен кольцом черного цвета. На снимке хорошо видно, что мехлопата в ближайшие часы закончит экскавацию развала. По ходу ее движения в секторе находится взрывной блок, начало которого частично показано на снимке (*см. рис. 2*). Взрывные скважины пробурены по диагональной сетке с размерами 10 × 12 м. Устья взрывных скважин обведены линией красного цвета. В правой части *рис. 2* в секторе, обведенном линией желтого цвета, работают четыре бульдозера Caterpillar D11T со сферическими отвалами и один гидравлический экскаватор типа «обратная лопата» на понижении высоты развала вскрышных пород после взрывных работ.

Направление движения экскаватора, установленного на обработке вскрышного уступа, и драглайна показано на рис. 2 стрелками.

Расстояние транспортировки угля до 16 стационарных углепогрузочных складов и до трех тепловых станций с шестью энергоблоками общей мощностью 1500 МВт составляет 4-5,5 км. Уголь отгружают в железнодорожные составы общей грузоподъемностью 9000 т. Одновременная погрузка составов может производиться на 16-ти территориально рассредоточенных складах, оборудованных накопительными емкостями силосного типа [13].

В угольных карьерах работает следующий парк горно-транспортного оборудования: буровые станки – 35 ед., драглайны с вместимостью ковша 100 куб. м и длиной стрелы 100 м – 15 ед., гусеничные одноковшовые карьерные экскаваторы с вместимостью ковша в диапазоне от 20 до 40 куб. м – 68 ед., углевозы – 12 ед. и 376 карьерных автосамосвалов. На выемке угля в секторах его недобора мехлопатами используют 12 погрузчиков на автомобильном шасси с вместимостью ковша 20 куб. м. По нашей оценке, технологически и технически возможный суммарный годовой объем добычи угля в карьерах на территории штата Вайоминг составляет 290 млн т. При этом годовой объем вскрышных работ должен составлять не менее 610 млн т.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЯ В ШТАТЕ СЕВЕРНАЯ ДАКОТА

На территории штата Северная Дакота выделено шесть центров открытой угледобычи и переработки угля с координатами на местности 47° 20' 10"с. и 101° 50' 05"з., 47° 25' 46"с. и 101° 44' 53"з., 47° 20' 30"с. и 101° 13' 45"з., 47° 28' 17"с. и 101° 04' 36"з., 47° 11' 27"с. и 101° 50' 58"з., 47° 05' 22"с. и 101° 20' 11"з. Отметим, что практически весь добытый уголь на территории этого штата перерабатывается на месте. По данным спутниковой съемки, выявлено восемь угольных карьеров с общей протяженностью фронта работ по добычному уступу 18800 м. В непосредственной близости от угольных карьеров производят выработку электрической энергии четыре тепловые станции с установленной мощностью энергоблоков не менее 2000 МВт. Рядом с электростанциями работают два химических завода по выпуску минеральных удобрений с разной годовой мощностью, запитанные с электростанций. Внешним потребителям уголь отгружают в железнодорожные составы на одном стационарном складе, оборудованном силосными накопительными емкостями.

В технологиях открытой разработки угольных месторождений используют аналогичное горнотранспортное оборудование, на котором базируется открытая разработка месторождений угля в штатах Монтана и Вайоминг. В угольных карьерах на территории штата Северная Дакота работает такой парк горнотранспортного оборудования: девять буровых станков, восемь драглайнов с вместимостью ковша 100 куб. м и длиной стрелы 100 м, 25 гусеничных одноковшовых карьерных экскаваторов с вместимостью ковша в диапазоне от 20 до 40 куб. м, 28 углевозов и 58 карьерных автосамосвалов. На выемке угля используют четыре погрузчика на автомобильном шасси с вместимостью ковша 20 куб. м. По нашей оценке, технологически и технически

достижимый суммарный годовой объем добычи угля в карьерах на территории штата Северная Дакота находится на уровне 70 млн т. При этом годовой объем вскрышных работ должен быть не менее 145 млн т.

Как следует из обзора архива космоснимков, на исследуемой территории выявлено четырехкратное увеличение масштаба добычи угля открытым способом за последние 30 лет [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 трех штатах США – Монтана, Вайоминг и Северная Дакота. По нашей оценке, общий объем добычи угля в карьерах на территории этих штатов по параметрам технологий производства горных работ и производительности горной техники находится на уровне 445 млн т в год. При этом необходимо обеспечить объем вскрышных работ на уровне 950 млн т, что является технически достижимым показателем. Вместе с тем фактический объем добычи угля будет регламентироваться рыночным спросом.

Список литературы

1. Титкова Т.Б. Изменение климатических условий формирования зимнего стока в бассейне Верхнего Дона по спутниковым и наземным данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 147-157.
2. Елсаков В.В., Щанов В.М. Современные изменения растительного покрова пастбищ северного оленя Тиманской тундры по результатам анализа данных спутниковой съемки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 128-142.
3. Терехин Э.А., Постернак Т.С. Процессы лесовозобновления на залежных землях юга Западной Сибири и их анализ с применением данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 161-172.
4. Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е. Пространственная изменчивость аэрозольной оптической толщины на территории Московского региона по спутниковым и наземным данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 236-248.
5. UAV-derived estimates of forest structure to inform ponderosa pine forest restoration / Adam Belmonte, Temuulen Sankey, Joel A. Biederman et al. // Remote Sensing in Ecology and Conservation. 2020. Vol. 6. Issue 2. P. 181-197.
6. Automated identification of avian vocalizations with deep convolutional neural networks / Zachary J. Ruff, Damon B. Lesmeister, Leila S. Duchac et al. // Remote Sensing in Ecology and Conservation. 2020. Vol. 6. Issue 1. P. 79-92.
7. Including 38 kHz in the standardization protocol for hydroacoustic fish surveys in temperate lakes / Anne Mouget, Chloé Goulon, Thomas Axenrot et al. // Remote Sensing in Ecology and Conservation. 2019. Vol. 5. Issue 4. P. 332-345.
8. Herricks. Detecting bird movements with L-band avian radar and S-band dual-polarization Doppler weather radar / Sidney A. Gauthreaux Jr, Ann-Marie Shapiro, Dave Mayer et

al. // Remote Sensing in Ecology and Conservation. 2019. Vol. 5. Issue 3. P. 237-246.

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

10. Automated detection of bird roosts using NEXRAD radar data and Convolutional Neural Networks / Carmen Chilson, Katherine Avery, Amy McGovern et al. // Remote Sensing in Ecology and Conservation. 2019. Vol. 5. Issue 1. P. 20-32.

11. 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. Issue 4. P. 285-302.

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

13. Самый подробный глобус / Google. Планета Земля. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.com/earth/>.

Original Paper

UDC 622.271(73):550.814 © I.V. Zenkov, Trinh Le Hung, E.V. Loginova, V.N. Vokin, E.V. Kiryushina, A.A. Latyncev, T.A. Veretenova, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 2, pp. 53-57
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-53-57>

Title

A STUDY OF COAL SURFACE MINING OPERATIONS IN THE CENTRAL U.S. BASED ON REMOTE SENSING DATA

Authors

Zenkov I.V.^{1,2,3}, Trinh Le Hung⁴, Loginova E.V.², Vokin V.N.¹, Kiryushina E.V.¹, Latyncev A.A.¹, Veretenova T.A.¹

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

³ Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

⁴ Le Quy Don Technical University (LQDTU), Hanoi, 11355, Vietnam

Authors' Information

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

Trinh Le Hung, PhD (Engineering), Associate Professor

Loginova E.V., PhD (Economic), Associate Professor

Vokin V.N., PhD (Engineering), Professor

Kiryushina E.V., PhD (Engineering), Associate Professor

Latyncev A.A., PhD (Engineering), Associate Professor

Veretenova T.A., Associate Professor

Abstract

The paper presents the results of a study into the state of surface mining operations in the states of Montana, Wyoming, and North Dakota in 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 overburden and coal excavation in each state. The results of satellite observations helped to identify a trend to increase the volume of surface coal mining in the surveyed areas of the United States.

Keywords

United States of America, Montana, Wyoming, North Dakota, Coal deposits, Surface mining, Coal pits, Mining and haulage vehicles, Remote sensing of the Earth.

References

1. Titkova T.B. Changes in climatic conditions of winter runoff formation in the Upper Don basin based on satellite and ground data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniâ Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 1, pp. 147-157. (In Russ.).
2. Elsakov V.V. & Schanov V.M. Contemporary changes in the vegetation cover of reindeer feeding grounds in the Timan tundra based on satellite data analysis. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniâ Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 2, pp. 128-142. (In Russ.).
3. Terekhin E.A. & Posternak T.S. Forest regeneration processes in fallow lands in the south of Western Siberia and their analysis using remote sensing data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniâ Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 4, pp. 161-172. (In Russ.).
4. Zhdanova E.Yu. & Chubarova N.E. Spatial variability of aerosol optical depth on the territory of the Moscow region based on satellite and ground data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniâ Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 7, pp. 236-248. (In Russ.).
5. 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, Issue 2, pp. 181-197.

6. 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, Issue 1, pp. 79-92.

7. Anne Mouget, Chloé Goulon, Thomas Axenrot et al. Including 38 kHz in the standardization protocol for hydroacoustic fish surveys in temperate lakes. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2019, Vol. 5, Issue 4, pp. 332-345.

8. Sidney A. Gauthreaux Jr, Ann-Marie Shapiro, Dave Mayer et al. Herricks. 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, Issue 3, pp. 237-246.

9. 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, Issue 2, pp. 150-159.

10. Carmen Chilson, Katherine Avery, Amy McGovern et al. Automated detection of bird roosts using NEXRAD radar data and Convolutional Neural Networks. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2019, Vol. 5, Issue 1, pp. 20-32.

11. 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, Issue 4, pp. 285-302.

12. 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, Issue 4, pp. 375-386.

13. The most detailed globe / Google. Earth Planet. [Electronic resource]. Available at: <https://www.google.com/earth/>.

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, Loginova E.V., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Latyncev A.A. & Veretenova T.A. A study of coal surface mining operations in the Central U.S. based on remote sensing data. *Ugol'*, 2021, (2), pp. 53-57. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-53-57.

Paper info

Received November 20, 2020

Reviewed December 17, 2020

Accepted January 12, 2021

ABROAD