ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;(6):88-96

УДК 622.271 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-88-96

ОБОСНОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТРАБОТКИ МАЛОМОЩНЫХ И СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КРУТОГО ПАДЕНИЯ

В.В. Таланин[1], В.Г. Бехер[1]

[1] МГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: v.bekher@yandex.ru

Аннотация: Колебания цен на уголь жестко связано с изменением цен на «основные» углеводороды (в первую очередь на газ). Особым спросом на рынке пользуются высокотехнологические угли марок А, Т. Д и Г, которые залегают преимущественно в Кузнецком бассейне. Эти угли подвергались высокой степени метаморфизации продолжительное время и их залегание формировалось в условиях значительной тектонической активности, что привело к нарушениям, произошедшим во время образования пласта или после его образования, а также к складчатости. Отработка угольных месторождений, представленных пластами крутого падения затрудняется из-за ухудшения горно-геологических условий (уменьшение мощности пластов, увеличение количества прослоев пустой породы и мощности вскрышных пород). Рассмотрены проблемы отработки маломощных и сложноструктурных угольных пластов крутого падения, балансовые запасы которых составляют 30—35%. Выполнен анализ объемов и качественных показателей угля при добыче, учитывая различные темпы углубления на открытых горных работах, а также на основе выполненного анализа установлено влияние интенсивности отработки угольных пластов на объем товарной продукции, зольность, среднепромышленный коэффициент вскрыши с учетом навалов. Затронут вопрос ввода в эксплуатацию обогатительной фабрики при селективной и валовой выемке. Освещены основные преимущества и недостатки, возможность перехода на внутреннее отвалообразование, увеличение дальности транспортирования, рациональность использования площадей земельных ресурсов. Приведен пример из практики открытых горных работ.

Ключевые слова: угольное месторождение, темпы углубления, коэффициент вскрыши, длина фронта горных работ, крутопадающие угольные пласты, карьер, забой, селективная выемка, качество углей, транспортирование.

Для цитирования: *Таланин В. В., Бехер В. Г.* Обоснование интенсивности отработки маломощных и сложноструктурных угольных пластов крутого падения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 6. – С. 88–96. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-88-96.

Justification of mining rate for steeply dipping thin and complex-structure coal seams

V.V. Talanin, V.G. Bekher

[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: v.bekher@yandex.ru

Abstract: One of the cheapest sources of energy in the global fuel and energy sector is coal; coal-driven power generation makes 40%. Nevertheless, oscillations in coal price are closely connected with price variation of prime hydrocarbons (first of all, gas). Being in high market demand, high-per-

© В.В. Таланин, В.Г. Бехер. 2019.

formance anthracite, dry-burning, long-flame and gas coals occur mostly in the Kuznetsk coal basin. These ranks of coal experienced long-term high-intensity metamophization, and their formation took place in the conditions of considerable tectonic activity, which resulted in dislocations and folding. Mining of steeply dipping coal seams is geologically complicated (reduced thickness of coal seams, numerous dirt bands, increased thickness of overburden). This article discusses problems of mining steeply dipping thin and complex-structure coal seams holding 30–35% of reserves. The volumes and quality indexes of coal mining are analyzed with regard to different rates of increase in open pit mining depth. Base on the analysis, it is found how coal mining intensity influences volume of marketable production, ash content of coal product and average stripping ratio per industry, including dumps. Introduction of a processing plant in selective and bulk mining processes is addressed. Benefits, limitations and feasibility of internal dumping, increased haulage distance and sound use of land areas are exposed. A case study of open pit mining is presented.

Key words: coal deposit, rate of increase in mining depth, stripping ratio, mining front length, steeply dipping coal seams, open pit mine, face, selective mining, coal quality, haulage.

For citation: Talanin V. V., Bekher V. G. Justification of mining rate for steeply dipping thin and complex-structure coal seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(6):88-96. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-88-96.

Введение

На фоне перманентного роста цен на угольную продукцию существуют кризисные периоды, длительностью от 5 до 7 лет, в течение которых данная цена может снижаться ниже уровня 20% [1]. Анализ мирового рынка угля за последние 5 лет говорит о том, что после затяжного падения цен с 2013 по 2016 гг. за последние два с половиной года международный рынок продемонстрировал рост котировок (рис. 1). Во многом это связано с возрастанием спроса, который в последнее время стал превышать предложение за счет увеличения экспортных отгрузок высококачественных энергетических углей в страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Россия является третьим по величине экспортером энергетического угля на мировой рынок (рис. 2). Таким образом, рост экспорта (рис. 3) стал ключевым

Рис. 1. Международные цены на каменный уголь [2]
Fig. 1. International prices of bituminous coal [2]

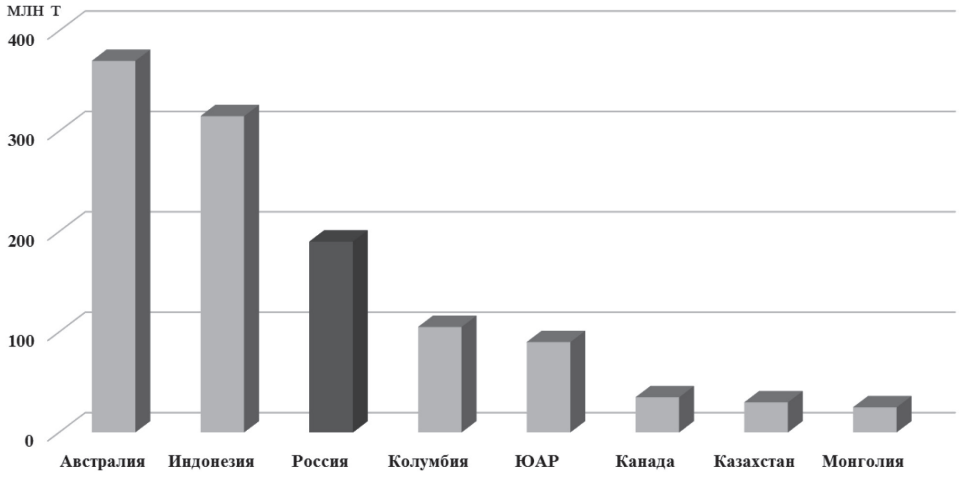

Рис. 2. Крупнейшие экспортеры угля в мире за 2017 г. [4]
Fig. 2. World's top coal exporters in 2017 [4]

факторов увеличения добычи угля в России, уровень которой сегодня превышает 420 млн т в год. Более 75% добычи угля в стране приходится на три бассейна — Кузнецкий, Печорский и Канско-Ачинский. По данным Роснедра свыше 80% запасов угля категорий А+В+С1+С2 (221 млрд т) в России разведано в Сибири. Доля бурых углей в этом объеме достигает почти 56%, остальные угли относятся к каменным (43,3%) и антрацитам. Крупнейший угледобывающий центр страны, Кузнецкий угольный бассейн заключает четверть российских запасов категорий А+В+С1+С2 (69,3 млрд т), почти полностью представленных высококачественными каменными углями, отличающимися низким содержанием се-

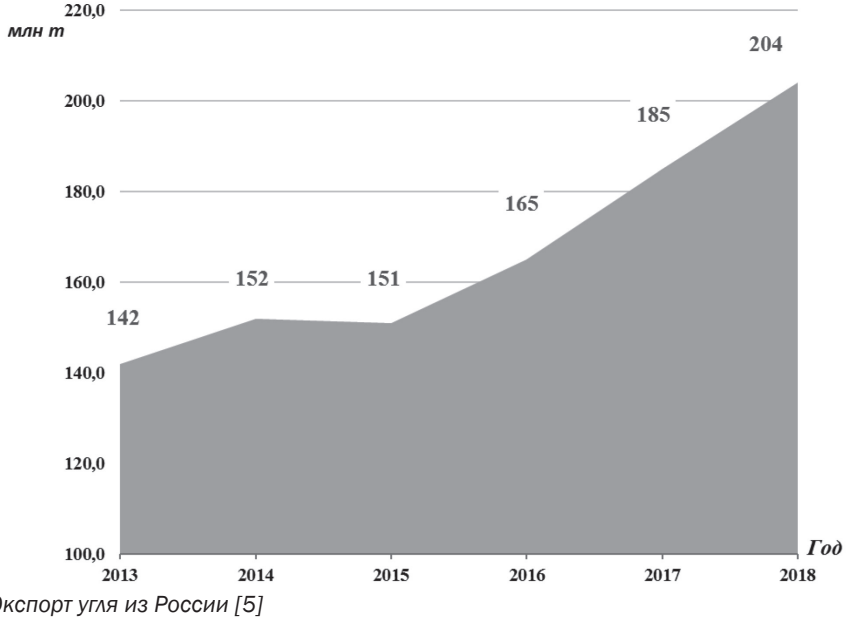

Рис. 3. Экспорт угля из России [5]
Fig. 3. Coal export from Russia [5]

ры, малой зольностью и хорошей теплотворной способностью. Набор таких характеристик обеспечивает кузбасским углям стабильный спрос на внутреннем и внешнем рынках. Примерно четверть запасов бассейна находится в благоприятных горно-геологических условиях, что позволяет отрабатывать их сравнительно дешевым и безопасным открытым способом. Около половины углей (32,8 млрд т) бассейна благодаря хорошей коксуемости может быть использована в металлургии. Однако из этого количества лишь 3,9 млрд т запасов пригодны для открытой разработки.

Особым спросом пользуются высокотехнологические угли марок А, Т. Д и Г, которые залегают преимущественно в Беловском, Бунгуро-чумышском, Ерунаковском, Кондомском и других районах Кузбасса. Эти угли подвергались высокой степени метаморфизации продолжительное время и их залегание формировалось в условиях значительной тектонической активности, что привело к нарушениям, произошедшим во время образования пласта (выклинивание или вздутие) или после его образования (сдвиг, сброс и взброс), а также к складчатости (антиклинальные и синклинальные складки). Как правило, эти угольные пласты имеют крутое падение (свыше 25—30° [3]) и включают в себя прослои пустой породы (алевролиты, аргиллиты и песчаники), что свидетельствует о сложной структуре.

Влияние темпов углубления на качество углей и коэффициент вскрыши

В погоне за наращиванием объемов добычи угля на крутопадающих месторождениях попытка быстро уйти на глубину с целью вскрытия более качественных углей приводят к блочной отработке с ограниченными параметрами блока и высокими темпами углубления рабочей зоны карьера до 40—60 м в год, что приводит к чрезмерной интенсификация горных работ. Направления углубления горных работ ориентируется по основным наиболее мощным пластам, маломощные пласты (с мощностью до 2—3 м [3]), характеризующиеся сложной структурой и крутым падением, отрабатывают валовым способом с высокими потерями, а зачастую вывозятся совместно со вскрышными породами в отвалы, что является основной причиной снижения извлечения угля из недр и как следствие увеличения среднего коэффициента вскрыши. Кроме того, при валовом способе отработки таких месторождений снижается качество добываемого угля (зольность, теплота сгорания). В результате чего, значительная часть добываемого угля не является товарным для внешнего рынка, поэтому возникает необходимость в строительстве обогатительной фабрики.

Влияние темпов углубления горных работ на качественные характеристики добываемых углей, величину текущего коэффициента вскрыши и выход товарной продукции можно рассмотреть на примере предприятия ведущего разработку каменного угля на трех участках недр в одном из районов Кузбасса. В пределах разрабатываемых участков доля балансовых запасов угля представленных маломощными пластами составляет 30—35% (см. рис. 4, серым цветом обозначены угольные пласты до 2—3 м, а черным — свыше 2—3 м). Прогнозируемые показатели качества добываемого угля в границах существующих лицензионных контуров выполнялись по пластам и по участкам при разной интенсивности добычных работ, характеризующихся темпами углубления (20, 40 и 60 м/год). Обоснование выхода товарных углей выполнялось с учетом существующего рынка сбыта. По фактическим данным максимальная зольность экспортного угля составила 15—18%, максимальная золь-

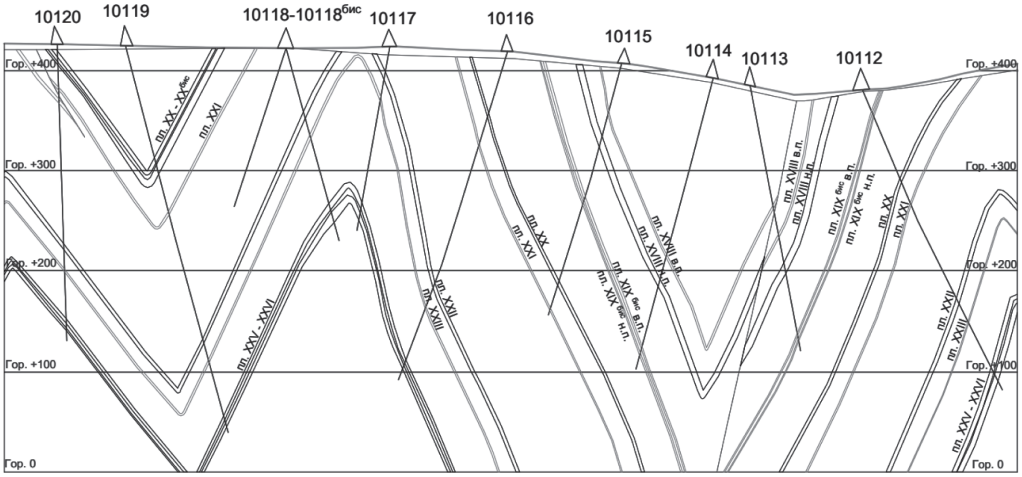

Рис. 4. Геологический разрез каменноугольного месторождения, представленного крутопадающими пластами (Кузнецкий бассейн)

Fig. 4. Geological section of bituminous coal deposit composed of steeply dipping seams (Kuznetsk coal basin)

ность для внутреннего рынка — 20%. Таким образом, товарным можно считать добытый уголь с зольностью не выше 20%. Остальные угли требуют обогащения или могут быть использованы для подшихтовки.

Темпы углубления на уровне 60 м/год в практике открытых горных работ трудно реализуемы, как правило, достигаются локально и на непродолжительный период времени. Однако, как вариант максимального предела интенсивности отработки целесообразен к рассмотрению. Достижение высоких темпов развития горных работ осуществляется в основном за счет применения мощного выемочного оборудования в технологических схемах практически исключающих селективную отработку угольных пластов. Достижение темпов углубления при современном уровне развития техники и технологии на уровне 40 м/год вполне реализуемы, хотя и требуют жесткого контроля организации работ. В таких условиях возможно применение кроме мощного выемочного оборудования, комплексов средней мощности в зонах угольных пластов, что позволит снизить потери и разубоживание угля при селективной выемке. Самые благоприятные условия для обеспечения высоких значений качества и извлечения создаются при темпах углубления на уровне 20 м/год. В таких условиях возможно применение в добычной зоне выемочного оборудования малой мощности, которое обеспечивает высокую степень селекции при экскавации.

Выполненный анализ объемов и характеристик добываемого угля свидетельствует, что высокая интенсивность ведения ОГР приводит к снижению качества добываемых углей, и извлечения товарных углей, а также к росту текущего коэффициента вскрыши (см. рис. 5).

Улучшение качества добываемого угля, а также снижение текущих коэффициентов вскрыши (при работе без обогащения) обеспечиваются при темпах углубления горных работ ~20—25 м/год (см. рис. 5).

Текущие коэффициенты вскрыши в данный момент на рассматриваемом предприятии превышают 18,0 м^3/т. Основной причиной данного обстоятельства является работа на ограниченной площади в пределах одного эксплуатационного (проектного) блока с очень высо-

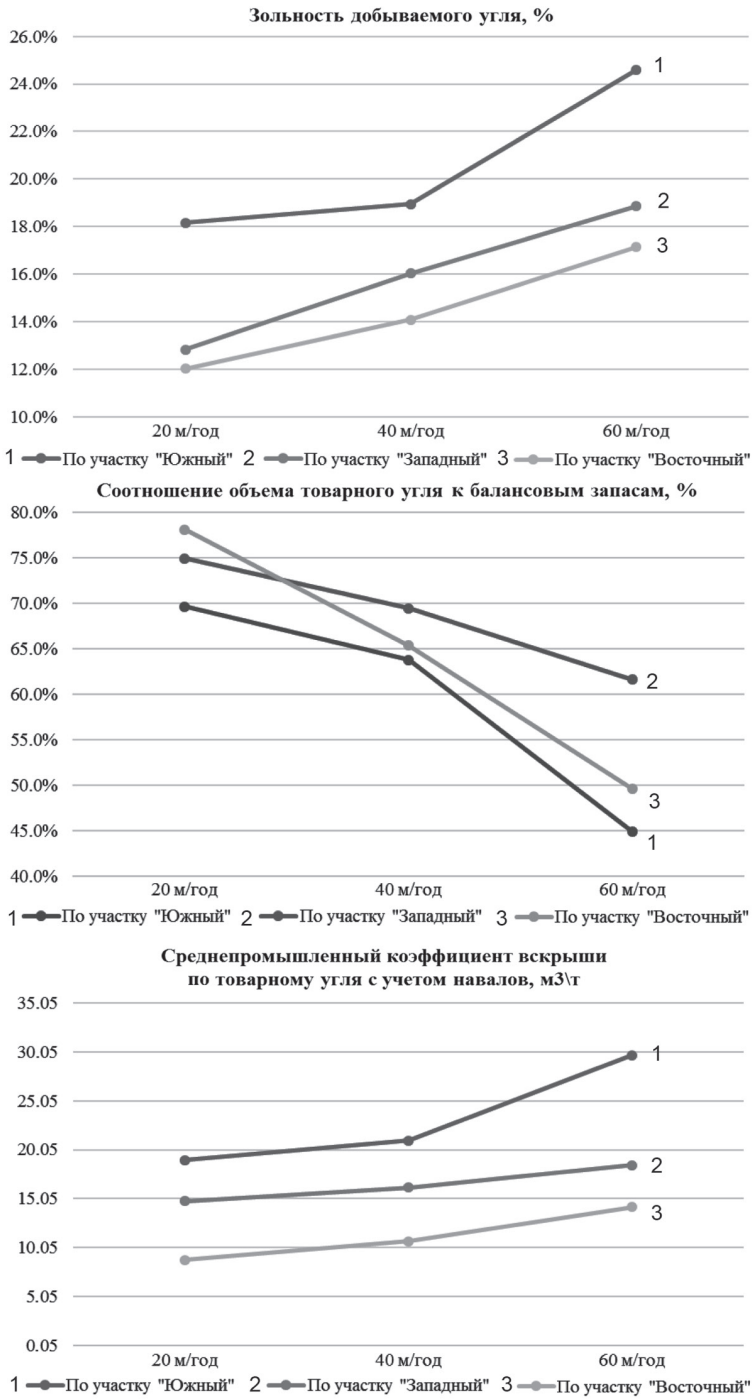

Рис. 5. Прогнозные показатели качества добываемых товарных углей и среднеэксплуатационных коэффициентов вскрыши при различных темпах углубления

Fig. 5. Predicted quality indexes of saleable coal and average stripping ratios at different rates of increase in mining depth

кими темпами углубления, в результате чего потери превышают 25%. Данная совокупность факторов при текущих ценах на уголь предопределяет необходимость удерживать расстояние транспортирования вскрышных пород в диапазоне 1,5—1,7 км, что ведет к размещению отвалов в опасной близости к откосам карьерных выработок и на площадях перспективных участков для расширения ОГР, завышению углов откоса отвалов и проблемам в обеспечении их устойчивости [6].

Ввод в эксплуатацию обогатительной фабрики (ОФ) позволит увеличить извлечение угля на 10—15%, но потребует значительных инвестиций в ее строительство. Однако мощность ОФ по переработке высокозольного угля и разубоженной угольной массы, образующихся при селективной выемке, будет значительно меньше, чем при валовой, когда практически весь объем добываемого угля потребует обогащения. Таким образом, применение селективной выемки позволит снизить капитальные затраты на создание обогатительных мощностей. Данным вопросом, связанным с селективной выемкой маломощных угольных пластов крутого падения и сложной структуры, занимались начиная с 50-х годов прошлого столетия такие выдающиеся ученные, как академики: В.В. Ржевский, Н.В. Мельников; профессора: Е.Ф. Шешко, П.И. Томаков, В.В. Манкевич, А.С. Фидель, М.Г. Новожилов, В.С. Коваленко; К. Дребенштедт, М.Ф. Двукованный и др. [7—11].

До ввода в эксплуатацию ОФ регулирование качества добываемого угля целесообразно осуществлять посредством снижения нагрузок на добычные забои и уменьшения среднегодовых темпов углубления для обеспечения раздельной подготовки к выемке и качественной зачистке, в том числе и маломощных пластов, а также реализации схем внутрипластовой селекции на основных рабочих пластах. Таким образом, для обеспечения приемлемого уровня извлечения и качества добываемого угля, а также снижения коэффициента вскрыши при сохранении существующих параметров рабочей зоны и снижения капитальных затрат на создание обогатительных мощностей необходимо активное использование технологических схем селективной выемки угля и, как следствие снижение нагрузок на добычные забои в 1,3—1,5 раза. Такое снижение мощности негативно скажется на экономике предприятия и в значительной степени нивелирует положительный эффект от улучшения показателей качества и извлекаемости углей.

Сохранить существующий уровень производственной мощности при снижении нагрузок на забои можно за счет увеличения параметров рабочей зоны карьера путем вскрытия и подготовки запасов рабочих горизонтов в пределах всего карьерного поля в плане. К сожалению, такой подход приведет к увеличению сроков перехода на внутреннее отвалообразование, но при этом снизится текущий коэффициент вскрыши, что позволит увеличить приемлемое расстояние транспортирования вскрышных пород и расширит зоны экономически целесообразного внешнего отвалообразования. При снижении интенсивности темпов углубления горных работ до 25 м/год текущий коэффициент вскрыши может быть понижен до уровня 15,0 м^3/т, что при сохранении текущего эксплуатационных затрат на вскрышные работы позволит увеличить дальность транспортирования вскрышных пород до 2,5 км и существенно расширить зону внешнего отвалообразования.

В работе [12] автор отмечает, что в Кузбассе наступил экономический предел роста угледобычи, который связан с неэффективным использованием природных и техногенных ресурсов и прихо-

дит к выводу, что высокие темпы развития горных работ наносят непоправимый ущерб окружающей среде и препятствуют развитию «Зеленой» промышленности.

Заключение

Анализируя полученные результаты, мы приходим к тому, что при высоких темпах ведения ОГР снижается качество добываемых углей, извлечение товарных углей и увеличивается текущий коэффициент вскрыши. Это свидетельствует о том, что снижение темпов благоприятно сказывается на экономических показателях предприятия, а также позволяет рационально использовать площади земельных ресурсов. В настоящее время, интенсивность отработки маломощных и сложноструктурных угольных пластов крутого падения не имеет эффективных технологий, что является нерешенной и актуальнейшей задачей на сегодняшний день.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Супрун В. И., Пастихин Д. В., Радченко С. А. и др.* Вскрытие и отработка карьерных полей Олонь-Шибирского месторождения каменного угля // Уголь. — 2012. — № 12. — С. 10—13. URL: http://www.ugolinfo.ru/Free/122012.pdf (дата обращения 22.11.2018).
2. https://ru.tradingeconomics.com/commodity/coal (дата обращения 25.01.2019).
3. *Ржевский В. В.* Процессы отрытых горных работ, 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1978. — 544 с.
4. http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/ (дата обращения 25.01.2019).
5. http://expert.ru/expert/2018/21/spasitelnyij-eksport/ (дата обращения 25.01.2019).
6. *Супрун В. И., Радченко С. А., Левченко Я. В., Бурцев С. В., Минибаев Р. Р.* Формирование схем вскрытия со стороны рабочих бортов карьеров, отрабатывающих угольные месторождения брахисинклинального типа // Уголь. — 2017. — № 8. — С. 94—99. URL: http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf (дата обращения 20.12.2018).
7. *Анистратов Ю. И.* Технология открытых горных работ. — М.: Недра, 1995. — 222 с.
8. *Томаков П. И., Наумов И. К.* Технология, механизация и организация открытых горных работ. 3-е изд., перераб. — М.: Изд. МГИ, 1992. — 464 с.
9. *Томаков П. И., Манкевич В. В.* Открытая разработка угольных и рудных месторождений. — М.: изд-во МГГУ, 1995. — 611 с.
10. *Косачев В. Е.* Обоснование и разработка технологии селективной выемки маломощных крутопадающих угольных пластов. Автореферат дис. к.т.н. — М.: РУДН, 1998. — 17 с.
11. *Drebenstedt C., Singhal R. K.* Mine planning and equipment Selection. Springer IP Switzerland, 2014. 758 с.
12. *Коваленко В. С.* Повышение эффективности использования природных и техногенных ресурсов при открытой угледобычи в рамках концепции «зеленой» горнодобывающей промышленности // Уголь. — 2018. — № 4. — С. 60—63. URL: https://cyberleninka.ru/article/v/povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniya-prirodnyh-i-tehnogennyh-resursov-pri-otkrytoy-ugledobyche-v-ramkah-kontseptsii-zelenoy (дата обращения 15.12.2018). ГИАБ

REFERENCES

1. Suprun V. I., Pastikhin D. V., Radchenko S. A. Accessing and mining of Olon-Shibir bituminous coal field by open pits. *Ugol'*. 2012, no 12, pp. 10—13. URL: http://www.ugolinfo.ru/Free/122012.pdf (accessed 22.11.2018). [In Russ].
2. https://ru.tradingeconomics.com/commodity/coal (accessed 25.01.2019).
3. Rzhevskiy V. V. *Protsessy otrytykh gornykh rabot*, 3-e izd. [Open pit mining processes, 3rd edition], Moscow, Nedra, 1978, 544 p.
4. http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/ (accessed 25.01.2019).
5. http://expert.ru/expert/2018/21/spasitelnyij-eksport/ (accessed 25.01.2019).
6. Suprun V. I., Radchenko S. A., Levchenko YA. V., Burtsev S. V., Minibaev R. R. Construction of access schemes from highwalls in open pits in centroclinal fold-type deposits. *Ugol'*. 2017, no 8, pp. 94—99. URL: http://www.ugolinfo.ru/Free/082017.pdf (accessed 20.12.2018). [In Russ].

7. Anistratov Yu. I. *Tekhnologiya otkrytykh gornykh rabot* [Open pit mining technology], Moscow, Nedra, 1995, 222 p.

8. Tomakov P. I., Naumov I. K. *Tekhnologiya, mekhanizatsiya i organizatsiya otkrytykh gornykh rabot*, 3-e izd. [Technology, mechanization and management in open pit mining, 3rd edition], Moscow, Izd. MGI, 1992, 464 p.

9. Tomakov P. I., Mankevich V. V. *Otkrytaya razrabotka ugol'nykh i rudnykh mestorozhdeniy* [Open pi mining of coal and metals], Moscow, izd-vo MGGU, 1995, 611 p.

10. Kosachev V. E. *Obosnovanie i razrabotka tekhnologii selektivnoy vyemki malomoshchnykh krutopadayushchikh ugol'nykh plastov* [Development and validation of selective mining technology for thin steeply dipping coal seams], Candidate's thesis, Moscow, RUDN, 1998, 17 p.

11. Drebenstedt C., Singhal R. K. *Mine planning and equipment Selection*. Springer IP Switzerland, 2014, 758 p.

12. Kovalenko V. S. Improving efficiency of natural and man-made resources in open pit coal mining in the framework of green mining industry. *Ugol'*. 2018, no 4, pp. 60—63. URL: https://cyberleninka.ru/article/v/povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniya-prirodnyh-i-tehnogennyh-resursov-pri-otkrytoy-ugledobyche-v-ramkah-kontseptsii-zelenoy (accessed 15.12.2018). [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Таланин Владимир Вадимович[1] — канд. техн. наук, доцент, e-mail: talaningeosystem@mail.ru,
Бехер Вадим Григорьевич[1] — аспирант, e-mail: v.bekher@yandex.ru,
[1] МГИ НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Бехер В.Г., e-mail: v.bekher@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.V. Talanin[1], Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: talaningeosystem@mail.ru,
V.G. Bekher[1], Graduate Student, e-mail: v.bekher@yandex.ru,
[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia
Corresponding author: V.G. Bekher, e-mail: v.bekher@yandex.ru.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ

(2018, № 12, СВ 64, 172 с.)

Опубликованные в сборнике статьи отражают результаты работы по планированию и организации инновационного развития угледобывающего производственного объединения. Представленный материал раскрывает разработанные методики и мероприятия по повышению эффективности горного производства, а также практические результаты их освоения. В подготовке статей участвовали работники всех уровней управления угледобывающего объединения.

PLANNING AND ORGANIZATION OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF COAL MINING PRODUCTION ASSOCIATION

The articles published in the collection reflect the results of the planning and organization of innovative development of the coal mining production Association. The presented material reveals the developed methods and measures to improve the efficiency of mining, as well as the practical results of their development. Employees of all levels of management of coal mining Association participated in preparation of articles. The material may be of interest to managers and specialists of regional production associations and independent enterprises engaged in the development of solutions aimed at the development of the production system.