

УДК 550.8.072(571.17) © А.Д. Смирнова¹, Г.С. Федотов²,
Т.В. Михайлова¹, 2024

UDC 550.8.072(571.17) © A.D. Smirnova¹, G.S. Fedotov²,
T.V. Mikhailova¹, 2024

¹ Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ), 650000, г. Кемерово, Россия
² ООО «Майкромайн Рус», 107023, г. Москва, Россия
✉ e-mail: 211a19@kuzstu.ru

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU),
Kemerovo, 650000, Russian Federation
² LLC MICROMINE RUS, Moscow, 107023, Russian Federation
✉ e-mail: 211a19@kuzstu.ru

Геологическое моделирование участка Тутуянской площади Кузбасса в горно-геологической информационной системе Micromine Origin & Beyond*

Geological modeling of the Tutuyasskaya area in Kuzbass in the mining and geological information system Micromine Origin & Beyond

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-6-119-124>

Россия занимает лидирующие позиции в мире по объемам добычи угля и его экспорта. Основным регионом добычи является Кемеровская область. Угли Кузбасса характеризуются высокой метаноносностью, в связи с чем на протяжении многих лет особенно остро стоит задача обеспечения безопасности производства горных работ при разработке месторождений угля подземным способом. Одним из способов борьбы с метаном в угольных шахтах является бурение дегазационных скважин, при этом все чаще извлекаемый таким способом из пласта метан рассматривается как полезное ископаемое, что является следствием тренда, связанного с комплексным освоением недр. Другим трендом, который в последние годы наблюдается в угольной отрасли, является внедрение цифровых технологий, в частности горно-геологических информационных систем (ГИИС) для трехмерного моделирования месторождений. Авторами статьи предлагается использовать трехмерную модель месторождения при обосновании заложения дегазационных скважин при отработке месторождений угля Тутуянской площади. В статье рассматривается первый этап создания модели месторождения, а именно построение геологической модели пластов с применением ГИИС Micromine Origin & Beyond. Описаны процессы подготовки данных для моделирования, построения цифровой модели поверхности, каркасного моделирования угольных пластов и дизъюнктивных нарушений, создания блочной модели и интерполяции в нее качественных показателей. Приведены иллюстрации этапов создания модели. Описаны дальнейшие этапы работы по трехмерному моделированию объекта исследования.

СМИРНОВА А.Д.

Ассистент кафедры
маркшейдерского дела и геологии
Кузбасского государственного
технического университета
им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ),
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: 211a19@kuzstu.ru

ФЕДОТОВ Г.С.

Канд. техн. наук,
технический директор
ООО «Майкромайн Рус»,
107023, г. Москва, Россия,
e-mail: grigoriyfedotov.s@gmail.com

МИХАЙЛОВА Т.В.

Канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой
маркшейдерского дела и геологии
Кузбасского государственного
технического университета
им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ),
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: mdg@kuzstu.ru

* Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2024-082-2).

Ключевые слова: ГГИС, Micromine Origin & Beyond, Кузбасс, трехмерная геологическая модель, каркасное моделирование, угольные месторождения, метан из угольных пластов, дегазация угольных пластов.

Для цитирования: Смирнова А.Д., Федотов Г.С., Михайлова Т.В. Геологическое моделирование участка Тутуяской площади Кузбасса в горно-геологической информационной системе Micromine Origin & Beyond // Уголь. 2024;(6):119-124. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-119-124.

Abstract

Currently, Russia takes the leading positions in the world both in coal extraction and export volumes. The main coal production region is the Kemerovo region – Kuzbass. Kuzbass coals are characterized by high methane content. Therefore, there is a necessity to ensure explosion safety of mining operations during the underground coal mining development. One of the methods to remove the gas in coal mines is drilling drainage holes. The extracted coal bed methane is considered as a significant resource on its own, following the trend of comprehensive mineral resources development. Another trend observed in the coal industry in recent years is the digital technologies enablement, particularly mining and geological information systems (MGIS) for three-dimensional deposits modeling. In this article authors propose to use three-dimensional models of Tutuyasskaya area in Kuzbass for optimal degasification boreholes scheme planning during the coal extraction. The article describes the first stage of the deposit model creation, specifically the coal seams geological model building using the MGIS Micromine Origin & Beyond. The processes of a digital terrain model creation, coal seams and tectonic faults frame modeling, a block model creation and its estimation are described in detail. The results of each stage of geological model creation are provided and illustrated. In conclusion, the directions for the next stages of three-dimensional modeling creation are described.

Keywords

MGIS, Micromine Origin & Beyond, Kuzbass, Three-dimensional geological model, Wireframe modeling, Coal deposits, Coal bed methane, Coal seams methane drainage.

For citation

Smirnova A.D., Fedotov G.S., Mikhailova T.V. Geological modeling of the Tutuyasskaya area in Kuzbass in the mining and geological information system Micromine Origin & Beyond. *Ugol'* 2024;(6):119-124. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-119-124.

Acknowledgements

The research was supported by the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ 075-03-2024-082-2).

АКТУАЛЬНОСТЬ

За прошедший год мировая добыча угля выросла на 7,9% (643,9 млн т) и достигла 8803,4 млн т, подобный прирост стал рекордным для угольной отрасли более чем за 40 лет [1]. Это является следствием планомерно растущего мирового спроса на данный энергоноситель, ведь около 40% электроэнергии по-прежнему получают именно из угля. Для удовлетворения спроса Россия продолжает наращивать объемы добычи (рис. 1), что позволяет нам сохранять третье место (после Австралии и Индонезии) в рейтинге самых крупных экспортеров угля [2]. В 2022 г. на территории Российской Федерации было добыто чуть более 440 млн т угля, что на 1,1% больше, чем годом ранее, и соответствует доковидному уровню [3], при этом более половины добытого в стране угля приходится на Кузбасс.

Из общего количества балансовых запасов по Кузбассу к отработке открытым способом пригодны только 20%, а следовательно, добыча основной части балансовых запасов подлежит отработке подземным способом [5]. При отработке месторождений угля подземным способом особенно остро стоит задача обеспечения безопасности ведения горных работ по причине наличия большого количества неблагоприятных факторов (опасность горных ударов, сложные горно-геологические условия, вероятность взрывы метана и пыли и т. д.). Наиболее существенным из них для месторождений Кузбасса является наличие природных газов. По прогнозным данным Газпрома, ресурсы метана в Кузнецком бассейне оцениваются в

13,1 трлн м³ [6], а концентрация метана достигает 98% в смеси природных газов [7] и увеличивается с глубиной залегания угленосных отложений.

В целях уменьшения поступления метана в горные выработки и предотвращения его внезапных выделений применяется дегазация, которая стала неотъемлемой частью процесса угледобычи [8, 9]. Однако, несмотря на требования по обязательной дегазации угольных пластов, периодически происходят аварии на шахтах, связанные со взрывами газа. При этом крупнейшие аварии по количеству летальных случаев и числу пострадавших, связанные со взрывом газовоздушной смеси, происходят в Кемеровской области.

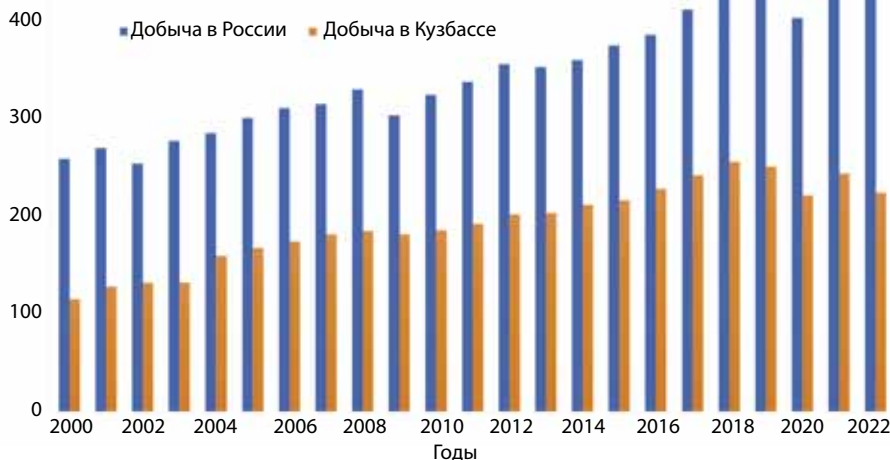


Рис. 1. Объемы добычи угля в период с 2000 по 2022 г. [2, 4]

Fig. 1. Volumes of coal production during the period from 2000 to 2022 [2, 4]

В современных реалиях угольный метан, извлекаемый путем дегазации, все чаще рассматривается не только как осложняющий фактор, но и как полезное ископаемое, подлежащее использованию в качестве нетрадиционного углеводорода [10]. Анализ мировой практики в данной области показывает, что некоторые страны ведут активное освоение метаноугольных месторождений, в их числе США, Китай и Австралия [11]. Учитывая данную тенденцию, а также наличие в угольных пластах Кузбасса больших ресурсов метана, актуальной является задача комплексного природопользования и освоения месторождений с попутным извлечением метана угольных пластов (МУП). Для повышения экономической эффективности данного процесса необходим комплексный подход к обоснованию схемы размещения дегазационных скважин, через которые осуществляется извлечение метана, при этом, учитывая реалии Индустрии 4.0, ключевую роль в нем должны играть информационные технологии, а именно специализированные пакеты программ, которые позволяют создавать трехмерные модели месторождений.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТУТУЯССКОЙ ПЛОЩАДИ

Активная фаза процесса цифровой трансформации горнодобывающих предприятий в России была начата около 10 лет назад, и сегодня большая часть крупных компаний добывающего сектора декларирует высокий уровень цифровизации своих активов. В случае с горной отраслью основной задачей цифровизации является внедрение информационных технологий на разных уровнях, начиная от операционной деятельности (планирование, проектирование, геологоразведка и т. д.) и заканчивая управлением общей финансово-хозяйственной деятельностью предприятия. Достичь высоких результатов позволяют соответствующие программные решения и технологии с последующей их интеграцией между собой, а также трансформация самих бизнес-процессов предприятия с учетом цифровизации и внедряемых решений [12]. Основным элементом цифровизации горнодобывающих предприятий являются горно-геологические информационные системы (ГИС) [13, 14, 15]. Встроенный в ГИС математический аппарат позволяет обрабатывать и интерпретировать горную, геологическую и маркшейдерскую информации, что повышает эффективность отработки месторождений и полноту извлечения запасов [16, 17, 18, 19, 20].

В контексте угледобывающих предприятий и повышения эффективности добычи МУП при освоении угольных месторождений весьма важным является построение в ГИС трехмерной модели месторождения, включающей геологическую и геомеханическую модели. Геологическая модель позволяет выполнить оценку запасов полезного ископаемого, визуализировать распределение качественных и количественных показателей угля, а также фильтрационных свойств, таких как газопроницаемость и метаносность. Наличие геологической модели участка недр необходимо для повышения надежности прогнозов, выявления особенностей строения и определения геометрических параметров вмещающего коллектора [10, 21].

Объектом моделирования является слабо изученная Тутуясская площадь Кузбасса (1169 км²), которая считается перспективной для промысловой добычи МУП в соответствии с геолого-технологическими факторами [22].

Высокопродуктивные отложения приурочены к балахонскому и кольчугинскому циклам угленакопления, а переслаивание алевролитов и песчаников в нижней части кузнецкой подсерии играет важную роль в распределении МУП, поскольку оно перекрывает пермские отложения и затрудняет естественную дегазацию угольных пластов. Южная часть площади является наиболее разведанной, поскольку примыкает к активно осваиваемым угледобывающим предприятиям Распадского и Ольжерасского каменноугольных месторождений, эксплуатация которых детализирует данные геологоразведочных работ. Стоит отметить, что при отработке каменного угля на более низких горизонтах пласты обладают большей газоносностью по сравнению с вышележащими слоями, что требует контроля параметров безопасности при освоении месторождения.

Процесс создания геологической модели можно разделить на несколько этапов. На первом этапе были выполнены анализ исходной геологической информации и ее импорт в ГИС Micromine Origin & Beyond. В качестве исходных данных были использованы результаты топографо-геодезических и геологоразведочных работ, а также геофизических исследований скважин. В ходе анализа были сделаны выводы о том, что месторождение относится ко II группе сложности.

Импортированные данные легли в основу геологической базы данных. В общем виде база данных состоит из следующих файлов [23]:

- файл устьев скважин с информацией о координатах, наименованиях и глубинах скважин. Файл устьев скважин южной части Тутуясской площади содержит в себе данные смежного участка ведения добычных работ, где присутствует плотная сеть разведочных выработок;
- файл инклинометрии с информацией о наименованиях скважин, их азимуте и наклоне;
- файл опробования, который формируется по результатам опробования, с информацией о минеральном составе ядерного материала. Также файл содержит наименования каждой скважины, по которой проводилось опробование, отметки интервалов от и до, наименование пласта, его мощность и качественные характеристики.

После формирования базы данных была выполнена ее проверка для выявления потенциальных ошибок и несоответствий. В ходе проверки были найдены скважины без данных опробования, что является следствием того, что отбор керн проводился не во всех скважинах. Кроме того, были найдены отсутствующие интервалы, наличие которых связано с тем, что опробование велось не по всей глубине скважины. После проверки база данных скважин была визуализирована в трехмерной среде программы (рис. 2).

На следующем этапе была выполнена интерпретация топографических данных, представленных в виде растровой графики, путем оцифровки изолиний поверхности. В ходе оцифровки выполняется построение полилиний,

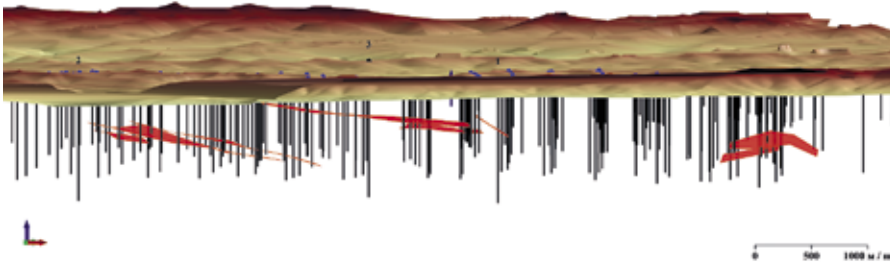


Рис. 5. Траектории скважин, ЦМП и каркасные модели дизъюнктивных нарушений
 Fig. 5. Borehole paths, digital terrain models and wireframe models of disjunctive dislocations

использованием результатов анализа качественных показателей углей. Затем была выполнена интерполяция фильтрационных свойств и качественных показателей с помощью метода обратных взвешенных расстояний (рис. 6).

На основании полученной модели был сформирован отчет по запасам. Метод обратных взвешенных расстояний был выбран ввиду изменчивости качественных характеристик угля в соответствии с направлением. Данный метод применяется только при эллипсоидном поиске, поэтому, учитывая шаг разведочной сети, интерполяция осуществлялась с постепенным увеличением эллиптической области поиска.

Итоговая модель является частью трехмерной модели месторождения. В дальнейшем авторами планируется выполнение построения геомеханической модели месторождения, которая будет использоваться при анализе распределений трех главных компонентов напряжений. Необходимость наличия данной модели обусловлена тем, что максимальное горизонтальное напряжение играет определяющую роль в развитии системы трещин в массиве горных пород. Зная его величину и направление распространения, возможно определить ориентацию кливажа, который определяет газопроницаемость. Таким образом, применение трехмерной модели месторождения позволит оптимизировать заложения дегазационных скважин, что в свою очередь даст соответствующий экономический эффект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Помимо большого количества балансовых запасов угля в недрах Кузбасса находится также и значительная часть их спутника – метана, достигающего 98%-ной кон-

центрации в смеси природных газов. Угольные пласты являются нетрадиционным коллектором метана [10], который может являться не только опасным фактором при угледобыче, но и полезным ископаемым.

На основании анализа существующей практики применение при геологоразведочных и добычных работах программного обеспечения для цифрового моделирования месторождений и созданных в них трехмерных моделей стало необходимым и востребованным для оперативного, безопасного и комплексного освоения недр. Данные модели могут быть использованы при разработке методических рекомендаций по проектированию и геомеханическому обоснованию расположения дегазационных скважин.

Список литературы • References

1. Statistical review of world energy. UK, London: Energy Institute, 2023. URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения: 15.04.2024).
2. Министерство энергетики РФ. [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 15.05.2024).
3. Доклад о ходе реализации в 2022 году Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года. М.: Министерство энергетики РФ, 2023.
4. Министерство угольной промышленности Кузбасса. [Электронный ресурс]. URL: <http://mupk42.ru/ru/> (дата обращения: 15.05.2024).
5. Шубина Е.А., Лукьянов В.Г. Проектирование геологоразведочных работ с целью использования скважин для производства заблаговременной дегазации угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016;(10):377-389.
 Shubina E.A., Luk'yanov V.G. Design of exploration well drilling for pre-mining gas drainage of coal seams. *Mining informational and analytical bulletin*. 2016;(10):377-389. (In Russ.).
6. Киряева Т.А., Писаренко М.В. Оценка ресурсов метана в Кузбассе // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2010. № 2. С. 21-27.
 Kiriaeva T.A., Pisarenko M. V. Methane resources evaluation in Kuzbass. *Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti*. 2010;(2):21-27. (In Russ.).

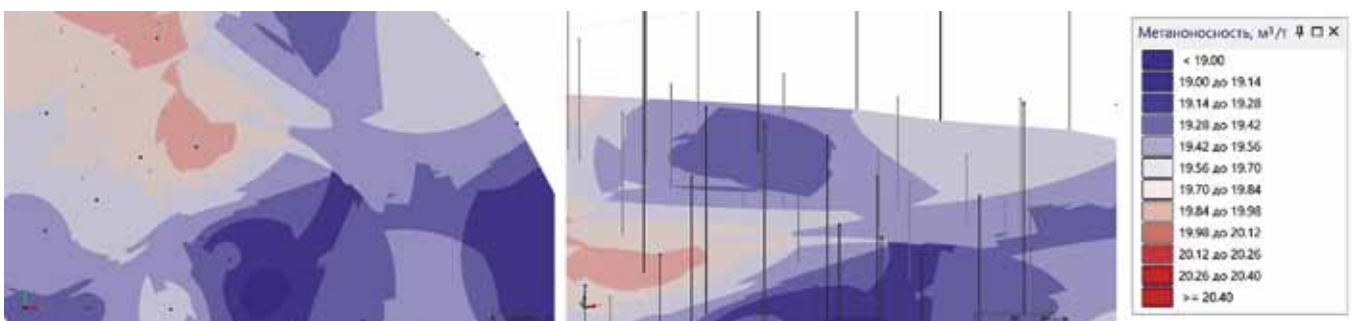


Рис. 6. Блочная модель угольного пласта

Fig. 6. A block model of the coal seam

7. Мазаник Е.В., Могилева Е.М., Коликов К.С. Использование шахтного метана: современное состояние, задачи и перспективы развития // Горная промышленность. 2014. № 1. С. 59-64. Mazanik E.V., Mogileva E.M., Kolikov K.S. Coal bed methane utilization: The state of the art, objectives and future considerations. *Gornaya promyshlennost'*. 2014;(1):59-64. (In Russ.).
8. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. М.: Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2012. 250
9. Разработка и совершенствование технологий пластовой дегазации для эффективной и безопасной отработки угольных пластов / С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев, Е.В. Мазаник и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. Т. 11. № 49. С. 13-22. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-49-13-22. Slastunov S.V., Yutyayev E.P., Mazanik E.V., Sadov A.P. Development and improvement of technology of reservoir degassing for effective and safe mining of coal seams. *Mining informational and analytical bulletin*. 2018;11(49):13-22. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-49-13-22.
10. Нетрадиционный газ как фактор регионализации газовых рынков / А.М. Мастепанов, А.Д. Степанов, С.В. Горевалов и др. М.: ИЦ «Энергия», 2013. 128 с.
11. Чжан Я., Колесник Ю.И. Современные технологии добычи метана в Китае из угольных пластов: тенденции и перспективы развития // Baikal Research Journal. 2022. Т. 13. № 2. DOI: 10.17150/2411-6262.2022.13(2).20. Zhang Y., Kolesnik Yu.I. Modern technologies for coal bed methane production in China: trends and development prospects. *Baikal Research Journal*. 2022;13(2). (In Russ.). DOI: 10.17150/2411-6262.2022.13(2).20.
12. Федотов Г.С., Сапронова Н.П. Горно-геологические информационные системы как инструмент цифровой трансформации производственных процессов горнодобывающих предприятий // Маркшейдерия и недропользование. 2021. Т. 114. № 4. С. 54-59. Fedotov G.S., Saproнова N.P. Geological and mining information systems as a tool for digital transformation of production processes in mining companies. *Markshejderiya i nedropolzovanie*. 2021;114(4):54-59. (In Russ.).
13. Turner A.K., Kessler H., Van der Meulen M. Applied multidimensional geological modeling, UK, Wiley Blackwell, 2021, 674 p.
14. Wang G., Li R., Carranza E.J.M., Zhang S., Yan C., Zhu Y., Qu J., Hong D., Song Y., Han J., Ma Z., Zhang H., Yang F. 3D geological modeling for prediction of subsurface targets in the Luanchuan district, China. *Ore Geology Reviews*. 2015;(71):592-610. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2015.03.002.
15. Mao S. Development of coal geological information technologies in China. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2020;7(2):320-328. DOI: 10.1007/s40789-020-00340-1.
16. Немова Н.А., Резник А.В., Карпов В.Н. О моделировании геомеханических процессов на месторождениях в условиях цифровой трансформации горнодобывающих предприятий // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 2. № 3. С. 332-341. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-2-3-332-341. Nemova N.A., Reznik A.V., Karpov V.N. Modeling of geomechanical processes in the fields in the conditions of digital transformation of mining enterprises. *Interexpo GEO-Siberia*. 2021;2(3):332-341. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-2-3-332-341. (In Russ.).
17. Smirnova A.D., Chen S., Mikhaylova T.V. Geological Mathematical Block Modelling in Kuzbass Mining Industry 2022. IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). Novosibirsk, 2022, pp. 1970-1973. DOI: 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017106.
18. Krasnotsvetov M.A., Tedikova A.A., Cheskidov V.V. Development of 3d Models of Coal Deposit. XVI International forum-contest of students and young researchers. Under the auspices of Unesco "Topical issues of rational use of natural resources" Saint-Petersburg: Saint-Petersburg Mining University, 2020, Vol. 1, pp. 418-419.
19. Курцев Б.В., Федотов Г.С. Геомеханическое сопровождение горных работ с использованием ГГИС Micromine // Горный журнал. 2022. № 1. С. 45-49. DOI: 10.17580/gzh.2022.01.08. Kurtsev B.V., Fedotov G.S. Micromine-based geomechanical supervision of mining. *Gornyj zhurnal*. 2022;(1):45-49. (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2022.01.08.
20. Стадник Д.А. Разработка научно-методической базы автоматизированного проектирования освоения георесурсного потенциала угольных шахт: дисс. ... докт. техн. наук. М.: НИТУ МИСиС, 2018. 285 с.
21. Che D., Jia Q. Three-dimensional geological modeling of coal seams using weighted kriging method and multi-source data. *IEEE Access*. 2019;(7):118037-118045. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2936811.
22. Копытов А.И., Войтов М.Д., Тагиев С.М.О. Современные методы добычи метана из угольных пластов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016;114(2):35-41. Kopytov A.I., Vojtov M.D., Tagiev S.M.O. Modern methods of methane production from coal beds. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universita*. 2016;114(2):35-41. (In Russ.).
23. Сидорова Г.П., Маниковский П.М. Прогнозирование качества угля с применением блочной модели пласта (на примере Кутинского бурого угольного месторождения) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 12. С. 55-66. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-12-0-55. Sidorova G.P., Manikovskiy P.M. Prediction of coal quality using block model of a seam: A case-study of Kuti lignite deposit. *Mining informational and analytical bulletin*. 2022;(12):55-66. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-12-0-55.

Authors Information

Smirnova A.D. – Assistant at the Department of Mine Surveying and Geology, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: 211a19@kuzstu.ru

Fedotov G.S. – PhD (Engineering), Technical Director, LLC MICROMINE RUS, Moscow, 107023, Russian Federation, e-mail: grigoriyfedotov.s@gmail.com

Mikhailova T.V. – PhD (Engineering), Head of the Department of Mine Surveying and Geology, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: mdg@kuzstu.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 7.02.2024

Поступила после рецензирования: 16.05.2024

Принята к публикации: 26.05.2024

Paper info

Received February 7, 2024

Reviewed May 16, 2024

Accepted May 26, 2024