

ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ПОРОД ВЗРЫВОМ, РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-2-5-11

УДК 622.817.47

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ЕРУНАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЗБАССА

STUDY OF RESIDUAL GAS CONTENT OF COAL SEAMS IN ERUNAKOVSKY DEPOSIT OF KUZBASS

Ширяев Сергей Николаевич¹,

технический директор, e-mail: Sergey.Shiryaev2@evraz.com

Sergej N. Shirjaev¹, Technical Director,

Тайлаков Олег Владимирович²,

доктор техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе,

e-mail: oleg2579@gmail.com

Oleg V. Tailakov², Dr. Sc. in Engineering, Professor, Deputy Director on research work

Застрелов Денис Николаевич²,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: zastrelov@uglemetan.ru

Denis N. Zastrelov², C. Sc. in Engineering, senior researcher

Герасимов Артем Вячеславович²,

старший инженер, e-mail: gerasimov@uglemetan.ru

Artem V. Gerasimov², senior engineer

¹ООО «Распадская угольная компания», 654027, Россия, г. Новокузнецк, пр. Курако, 33

¹ООО Raspadskaja ugol'naja kompanija, 33, Kurako ave., Novokuznetsk, 654027, Russian Federation

²Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского Отделения Российской академии наук, 650065, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10.

²Federal Research Center of Coal and Coal chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky Ave., Kemerovo, 650065, Russian Federation

Аннотация:

Приведены результаты шахтных наблюдений выделения метана при отработке весьма сближенных угольных пластов и установлена зависимость роста объема суточной добычи при увеличении мощности пород между пластами, что связано с уменьшением миграции метана из нижнего надрабатываемого пласта в выработки верхнего пласта. Для обоснования параметров проветривания выработок выемочных участков, расположенных ниже по падению пласта, определена остаточная газоносность угольных пластов комплексным методом, включающим отбор угольных проб из скважин в шахтных условиях, оценку в лабораторных условиях скорости десорбции метана и коллекторских свойств 35 угольных кернов, численное моделирование распределения газопроницаемости, пористости и давления метана в угольном пласте. При исследованиях учтено пространственное расположение горных выработок, мощность пород между пластами и напряженно-деформированное состояние массива горных пород. По содержанию в образцах угля постоянных изотопов углерода C^{12} , C^{13} обоснован критерий разделения мантийного и биохимического генезиса метана. Проведено сравнение извлеченного из выработанного пространства, средствами вентиляции, пластовой дегазации метана в пределах выемочного участка. Установлено, что при природной газоносности $20,0 \text{ м}^3/\text{т}$ всего извлечено $3,80 \text{ м}^3/\text{т}$ метана, а по результатам лабораторного анализа остаточная метаноносность получена $3,77 \text{ м}^3/\text{т}$, то есть доказано, что традиционные способы дегазации обеспечивают извлечение метана только в пределах фильтрующего объема пор в угольных пластах.

Ключевые слова: метан, угольный пласт, шахта, угольные пробы, шахтные и лабораторные исследования, численное моделирование, метановоздушная смесь, сорбция метана, массоперенос газа.

Abstract:

The article presents the results of mine observations of methane emission in mining of highly contiguous coal seams and determines the dependence of daily production growth on the increasing rock width between seams, which is associated with a decrease in migration of methane from lower overworked coal seam into the workings of the upper seam. For substantiation of parameters of ventilation of extraction panel working located below along the seam inclination, the residual gas content of coal seams was determined by a complex method including the collection of coal samples from boreholes in the mine conditions, evaluation of methane desorption rate and reservoir properties of 35 coal cores in the laboratory conditions, numerical modeling of the distribution of permeability, porosity and pressure of methane in coal seam. The research takes into account the spatial location of mine workings, the width of rock strata between layers, and the stress-strain state of the rock strata. Based on the content of permanent carbon isotopes C_{12} and C_{13} in coal samples, the criterion for separating the mantle and biochemical genesis of methane is justified. The comparison of in-seam gas drainage methane extracted from the worked-out space by means of ventilation within the extraction panel was carried out. It was found that with the natural gas content of $20.0 \text{ m}^3/\text{t}$, a total of $3.80 \text{ m}^3/\text{t}$ of methane was extracted, and according to the results of laboratory analysis, the obtained residual methane content was $3.77 \text{ m}^3/\text{t}$, that is, it was proved that traditional methods of degassing provide methane extraction only within the filter pore volume in coal seams.

Key words: methane, coal seam, mine, coal samples, mine and laboratory studies, numerical modeling, methane-air mixture, methane sorption, gas mass transfer.

Несмотря на большой объем исследований по повышению эффективности дегазации угольных пластов на отечественных и зарубежных шахтах [6-13], газовый фактор является основной причиной ограничения производительности очистных и подготовительных забоев на угольных шахтах. В этой связи научные исследования, направленные на создание новых и повышение эффективности традиционных способов и средств извлечения метана, являются актуальными для горной науки и практики. Решение этой задачи возможно только при наличии необходимой для создания цифровых технологий управления метановыделением на угольных шахтах информации о газопермеабильности свойствах массива горных пород. Для реализации этого направления в ООО «Распадская угольная компания» разработана «Пятилетняя программа по дегазации», в осуществлении которой активно участвуют специалисты компании, ведущие научно-исследовательские организации и вузы [2, 9-13, 15, 16].

Одним из параметров, характеризующих метаноспособность угольных пластов, является их остаточная газосодержимость, под которой следует понимать объем газа, содержащегося в единице массы угля или породы, частично дегазированных в результате ведения горных работ [1, 3, 17-19]. Согласно результатам исследований, представленных в работах [4, 5, 14-16], следует различать сорбционный, фильтрующий и общий объем пор. В сорбционном объеме пор происходят процессы сорбции и капиллярной конденсации, а миграция газа возможна в форме молекулярно-кинетического движения. В пределах сорбционного объема происходит формирование

гидратной фазы метана. В фильтрующем объеме часть метана в свободном состоянии заполняет трещины и микропоры угля, а также коллекторы вмещающих пород. Влияние процессов сорбции и капиллярной конденсации в фильтрующем объеме ограничено.

Для определения остаточной метаносодержимости применен объемный метод оценки скорости десорбции метана и коллекторских свойств с учетом динамики процессов фильтрации и диффузии метана [1, 2, 4-7]. Согласно методике исследований из подземных выработок проведено бурение скважин на глубину до 30 м, осуществлен отбор проб из скважин с помощью керноотборника, в лабораторных условиях определена остаточная метаносодержимость угольных кернов.

В качестве объекта исследований принята газосодержимость весьма близких угольных пластов 48 и 45 филиала «Шахта Ерунаковская-VIII» в Кузбассе. В разрезе осадков свиты угольных пластов преобладают песчаники, алевролиты имеют подчиненное значение. Свита пластов залегает в виде моноклиальной структуры с общим наклоном толщи $4-6^\circ$ (вблизи выходов на поверхность нижних пластов 50, 48 и 45) с постепенным нарастанием на глубину до $10-11^\circ$ – в северо-западной части поля, и до $14-15^\circ$ – в южной.

На экспериментальном участке длинным комплексно-механизированным забоем отрабатывался угольный пласт 48, мощность пласта 1,84-2,65 м, средняя 2,25 м. Горными работами по пласту 48 надрабатывался нижележащий пласт 45 мощностью 1,05-2,95 м. Прочность пород между пластами 20-30 МПа,

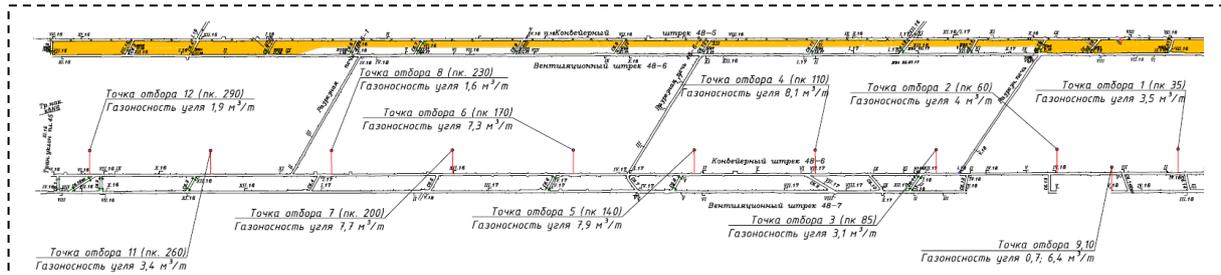


Рис. 1. Схема расположения скважин для взятия угольных проб в пределах выемочного участка 48-6
 Fig. 1. Layout of boreholes for taking coal samples within extraction panel 48-6

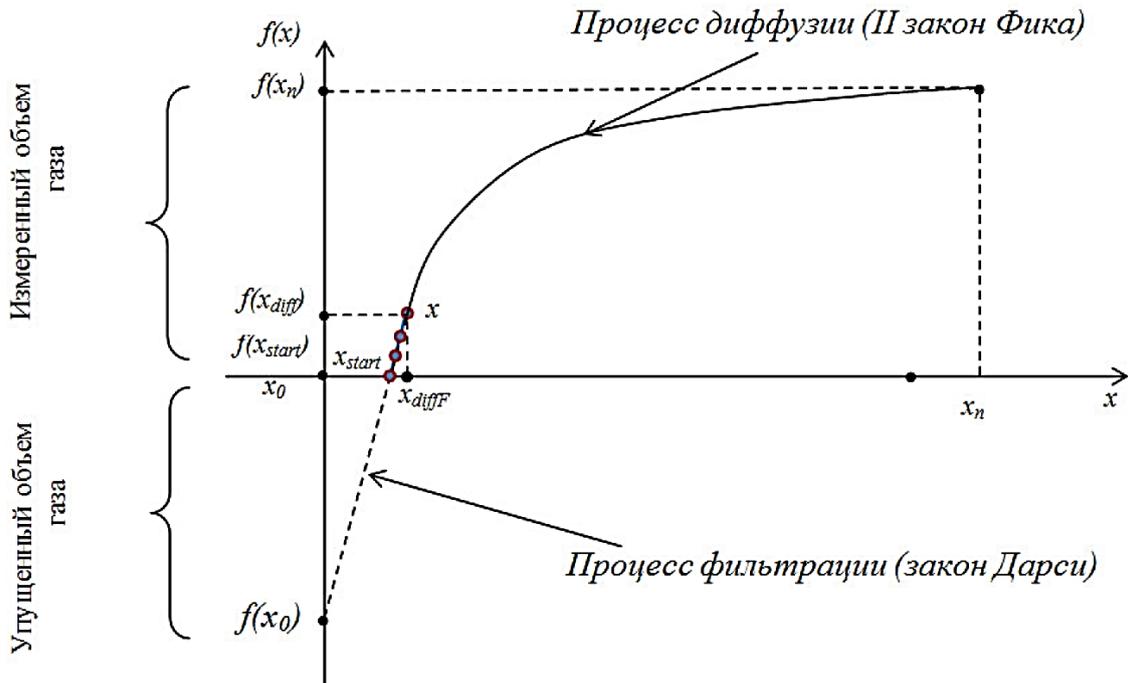


Рис. 2. Зависимость и схема экстраполяции десорбции метана из угольной пробы от времени
 Fig. 2. Dependence and scheme of extrapolation of methane desorption from a coal sample on time

мощность пород 0,39 – 17,0 м.

Экспериментальные исследования газообильности выемочных участков осуществлялись в течение 2017-2019 гг. при отработке выемочных столбов 48-5 и 48-6 пласта 48 (рис. 1). Природная метаносность пластов 48 и 45 на экспериментальном участке равна 21,2 м³/т.

До начала горных работ проводилась предварительная дегазация пласта 48. Мощность пород между пластами 48 и 45 по мере подвигания очистных забоев с юго-востока на северо-запад увеличивалась и составила около монтажной камеры меньше одного метра, а на северо-западе у демонтажных камер более пяти метров.

По результатам натурных исследований установлено, что при перемещении лавы из области с высокой газоносностью угля и мощностью пород между пластами 1-3 м в область с меньшей газоносностью и увеличивающейся мощностью междупластья до 6 м происходило снижение абсолютной газообильности лавы и

выемочного участка в целом, что позволяло пропорционально увеличивать нагрузку на очистной забой в пределах 3,5-11,2 тыс. т в сутки.

Как следует из рис. 2, влияние газа метана надрабатываемого пласта 45 на объемы добычи угля в очистном забое пласта 45 существенное, однако зависимости дебита метана из пласта 45 в выработки верхнего отрабатываемого пласта при разной мощности пород между весьма сближенными пластами не установлены, что не позволяет проводить планирование горных работ при отработке нижележащих выемочных участков 48-7÷ 48-10.

С целью прогноза метановыделения при отработке нижних выемочных участков были проведена оценка остаточной метаносности с использованием объемного метода оценки скорости десорбции метана и коллекторских свойств с учетом динамики процессов фильтрации и диффузии метана.

Для отбора проб скважины пробурены из

Таблица 1. Результаты определения остаточной газоносности угля в выемочном участке 48-6
Table 1. Results of determining the coal residual gas content in extraction panel 48-6

Место отбора угольных проб	Номер пробы	Остаточная газоносность угля, м ³ /т с.б.м.
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 35) 02.07.18 точка 1	28-1	2,5
	28-2	3,5
	28-3	3,4
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 60) 10.07.18 точка 2	28-5	4,0
	28-6	4,0
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 85) 16.07.18 точка 3	1Н110	2,4
	2Н110	2,8
	27-2	1,6
	28-2	3,1
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 110) 20.07.18 точка 4	28-3	3,3
	29-3	4,5
	30	8,1
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 140) 07.08.18 точка 5	29-3	9,0
	28-3	4,4
	1Н110	6,0
	27	7,9
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 170) 28.08.18 точка 6	27-3	7,3
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 200) 31.08.18 точка 7	2	7,7
	28-2	7,4
	1	3,7
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 230) 04.09.18 точка 8	30	1,6
	35	0,7
	29	0,7
Вентиляционный штрек 48-7 18.09.18 точка 9	28-1	6,4
	21	6,2
	2	6,1
Вентиляционный штрек 48-7 20.09.18 точка 10	28-3	0,6
	1	0,6
	30	0,7
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 260) 25.09.18 точка 11	27-3	1,0
	35	3,4
	28-1	1,8
Конвейерный штрек 48-6 (пикет 290) 28.09.18 точка 11	29-3	1,8
	2	1,7
	28-2	1,9
Средняя остаточная газоносность		3,77

конвейерного штрэка 48-6 и вентиляционного 48-7 штрэков (рис. 1). В период шахтных исследований в выемочном столбе 48-6 верхний участок 48-5 был полностью отработан. Всего было пробурено 12 скважин, для анализа извлечено 34 угольных пробы. Пробы извлекались в следующей последовательности: бурение скважины до заданной глубины 20-30 м, подача керноотборника в скважину, промывка скважины, выбуривание керна, извлечение керноотборника и угольной пробы, герметизация угольной пробы в термобарометрической колбе с регистрацией времени извлечения пробы, атмосферного давления и температуры окружающей среды.

В лабораторных условиях проводилась

дегазация угольной пробы и определялись технические характеристики угля. Упущенный объем газа вычислялся методом обратной экстраполяции с использованием закона Дарси (рис. 2).

Принята следующая модель десорбции метана из угольных проб [2, 3]:

$$f(x) = a_1 + b_1 ; x \in [x_0; x_{diff}]; \quad (1)$$

$$f(x) = a_2 + b_2 \ln x ; x \in [x_{diff}; x_n], \quad (2)$$

В формулах (1), (2) и на рис. 2 приняты следующие обозначения:

a_1, b_1, a_2, b_2 – параметры модели;

Таблица 2. Газовый баланс по выемочному участку 48-6
Table 2. Gas balance in extraction panel 48-6

Показатель	Единицы измерения	Всего входящая струя	Пластовая дегазация	Дегазация выработанного пространства
Объем воздуха	м ³ /мин	2840	47	55
Содержание метана	%	0,10	31,75	40,20
Объем метана	м ³ /мин	2,84	14,9	22,1
Удельный объем метана	%	4	21	30

$x_0=0$;
 n – количество наблюдений;
 x_{start} – начало фильтрации;
 x_{diff} – начало диффузии;
 $[x_0; x_{start}]$ – интервал экстраполяции;
 $[x_{start}; x_{diff}]$ – процесс фильтрации (закон Дарси);
 $[x_{diff}; x_n]$ – процесс диффузии (II закон Фика).

Результаты определения остаточной газоносности угля в окрестности выемочного участка 48-6 филиала «Шахта Ерунаковская-VIII» представлены в табл. 1.

Для оценки соответствия приведенной в табл. 1 остаточной газоносности и реальной горнотехнической ситуации проведен анализ параметров газового баланса (табл. 2) при отработке выемочного столба 48-6, на котором в течение 13 месяцев проведены работы по дегазации пластов 48 и 45 и получены следующие результаты:

- пробурено 326 скважин общей длиной всех скважин 85,1 км;
- дебит метана из всех скважин составил 18,8 м³/мин, а из одной скважины 0,058 м³/мин;
- объем извлеченного метана достиг 10 млн м³, а остаточный объем газа составил 42,10 млн м³;

- получена остаточная газоносность 16,2 м³/т, то есть снижение природной газоносности произошло на 3,80 м³/т.

Как следует из таблиц 1 и 2, остаточная газоносность, полученная по методике косвенного определения природной газоносности в лабораторных условиях по угольным пробам (среднее значение газоносности 3,77 м³/т в табл. 1), соответствует снижению уровня природной газоносности 3,80 м³/т (табл. 2).

Согласно результатам натурных измерений по методикам, изложенным в работах [1, 3, 6, 8, 17-19], удельный объем метана, извлеченного при дегазации выемочных участков 48-5 и 48-6, составил 3,8 м³/т, а остаточная газоносность 16,2 м³/т. По результатам лабораторных испытаний угольных проб посредством расчета упущенного объема газа и обратной экстраполяции с использованием закона Дарси, объем метана составил 3,77 м³/т (табл. 1), то есть установлено полное совпадение результатов шахтного и лабораторного экспериментов. Отношение объема извлеченного метана в обоих экспериментах и природной метаноносности подтверждает, что в обоих случаях проведена дегазация угольных проб и угольного пласта из фильтрующего объема угольного пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Выпуск 22. –М.: ЗАО Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2012. – 250 с.
2. Плаксин М.С. Основы создания инновационного метода определения природной газоносности угольных пластов/ М.С. Плаксин, Е.Н. Козырева, Р.И. Родин // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Научный журнал. – Новокузнецк: СибГИУ. – 2019.- №5. – С. 398-403.
3. Рекомендации по определению газоносности угольных пластов. Серия 05. Выпуск 48. – М.: ЗАО Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2017. – 44 с.
4. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа / В.В. Ходот. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 244 с.
5. Колмаков В.А. Метановыделение и борьба с ним в шахтах / В.А. Колмаков. – М.: Недра, 1981. - 134 с.
6. Bo Li. A method of determining the permeability coefficient of coal seam based on the permeability of loaded coal / Li Bo, Wei Jianping, Wang Kai, Li Peng, Wang Ke // International Journal of Mining Science and Technology. 2014. Issue 5. Vol. 24. Pp. 637-641.

7. Romanov V.N., Graeser L.C., Jikich S.A., Soong Y., Irdi G.A. Coal-gas interaction: implications of changes in texture and porosity // *International Journal of Coal Science and Technology*. 2016. V. 3. № 1. Pp. 10-19.
8. Lu S., Cheng Y., Ma J., and Zhang Y. Application of in-seam directional drilling technology for gas drainage with benefits to gas outburst control and greenhouse gas reductions in Daning coal mine, China // *Natural Hazards*. 2014. Vol. 73. № 3. Pp. 1419-1437.
9. Ширяев С.Н. Исследование зависимостей проницаемости краевой части угольного пласта от напряженно-деформированного состояния массива горных пород / С.Н. Ширяев, А.А. Черепов, О.А. Петрова // *Горный информационно-аналитический бюллетень. Научно-технический журнал* - 2019. - №9. – С. 62-71.
10. Ширяев С.Н. Применение современных методов дегазации при отработке пласта 48 в условиях филиала «Шахта «Ерунаковская-VIII» / С.Н. Ширяев, А.М. Никитина, Р.А. Дадынский // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. – 2018. – №3 (25). – С. 41-47.
9. Ширяев С.Н., Агеев П.Г., Черепов А.А., Петрова О.А., Фрянов В.Н. Обоснование направлений развития способов и средств дегазации угольных шахт // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. – 2018. – №3 (25). – С. 28-32.
11. Каркашадзе Г.Г. Результаты определения пластового давления, газопроницаемости и параметров сорбции угольного пласта по результатам шахтных измерений истечения метана из коротких скважин / Г.Г. Каркашадзе, Е.В. Мазаник, П.Н. Пашенков // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. - 2016. - №9. – С. 259-264.
12. Каркашадзе Г.Г. Интенсификация дегазации угольного пласта на основе учета его геомеханического состояния в условиях нестационарных механических и сорбционных деформаций / Г.Г. Каркашадзе, С.В. Сластунов, Г.П. Ермак, Е.В. Мазаник // *Уголь*. – 2015. - №11. – С. 62-65.
13. Качурин Н.М. Аэрогазодинамика очистных и подготовительных участков при отработке мощных пологих пластов / Н.М. Качурин, А.Ю. Ермаков, Вал.В. Сенкус. – Кемерово: А.И. «Кузбассвуиздат», 2017. – 287 с.
14. Ашихмин В.Д. О внезапных разрушениях почвы горных выработок с прорывами метана из наработанных пластов / В.Д. Ашихмин, А.Г. Радченко, А.В. Савченко, Е.А. Ялпуга, Н.С. Федосова // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. – Новосибирск: ИГД СО РАН. – 2017. - Том 4. - №2. – С. 26-31.
15. Плаксин М.С. Газокинетическая реакция углеметанового пласта при создании в нем трещин посредством нагнетания флюидов / М.С. Плаксин, Р.И. Родин, В.И. Альков // *Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст.* – Новокузнецк: СибГИУ, 2017. - С. 63-67.
16. Садов А.П. Управлению дегазации и утилизации метана АО «СУЭК-Кузбасс» - 10 лет / А.П. Садов // *Уголь*. - 2018. - №12. - С.38-40.
17. Ian Gray. Mining Gassy Coals// 2012 Coal Operators' Conference The University of Wollongong. Pp. 250-260.
18. Zhang L., Aziz N. I., Ren, T., Nemcik, J. and Tu, S. (2014). Influence of coal particle size on coal adsorption and desorption characteristics. *Archives of Mining Sciences*, 59 (3). Pp. 807-820.
19. Mirosław Wierzbicki. Changes in the sorption/diffusion kinetics of a coalmethane system caused by different temperatures and pressures. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*. – Tom 29. – 2013. Zeszyt 4. Pp. 155-168.

REFERENCES

1. Instrukcija po degazaciji ugod'nyh shaht. Serija 05. Vypusk 22. –M.: ZAO Nauchno-tehnicheskij centr issledovanij problem promyshlennoj bezopasnosti, 2012. – 250 p. (rus)
2. Plaksin M.S. Osnovy sozdaniya innovacionnogo metoda opredelenija prirodnoj gazonosnosti ugod'nyh plastov/ M.S. Plaksin, E.N. Kozyreva, R.I. Rodin // *Naukojomkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov. Nauchnyj zhurnal*. – Novokuzneck: SibGIU. – 2019.- №5. – Pp. 398-403. (rus)
3. Rekomendacii po opredeleniju gazonosnosti ugod'nyh plastov. Serija 05. Vypusk 48. – M.: ZAO Nauchno-tehnicheskij centr issledovanij problem promyshlennoj bezopasnosti, 2017. – 44 p. (rus)
4. Hodot V.V. Vnezapnye vybrosy uglja i gaza / V.V. Hodot. – M.: Gosgortehizdat, 1961. – 244 p. (rus)
5. Kolmakov V.A. Metanovydelenie i bor'ba s nim v shahtah / V.A. Kolmakov. – M.: Nedra, 1981. - 134 p. (rus)
6. Bo Li. A method of determining the permeability coefficient of coal seam based on the permeability of loaded coal / Li Bo, Wei Jianping, Wang Kai, Li Peng, Wang Ke // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2014. Issue 5. Vol. 24. Pp. 637-641.

7. Romanov V.N., Graeser L.C., Jikich S.A., Soong Y., Irdi G.A. Coal-gas interaction: implications of changes in texture and porosity // *International Journal of Coal Science and Technology*. 2016. V. 3. № 1. Pp. 10-19.
8. Lu S., Cheng Y., Ma J., and Zhang Y. Application of in-seam directional drilling technology for gas drainage with benefits to gas outburst control and greenhouse gas reductions in Daning coal mine, China // *Natural Hazards*. 2014. Vol. 73. № 3. Pp. 1419-1437.
9. Shirjaev S.N. Issledovanie zavisimostej pronicaemosti kraevoj chasti ugol'nogo plasta ot naprjazhjonno-deformirovannogo sostojanija massiva gornyh porod / S.N. Shirjaev, A.A. Cherepov, O.A. Petrova // *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*. Nauchno-tehnicheskij zhurnal - 2019. - №9. – Pp. 62-71. (rus)
10. Shirjaev S.N. Primenenie sovremennyh metodov degazacii pri otrabotke plasta 48 v uslovijah filiala «Shahta «Erunakovskaja-VIII» / S.N. Shirjaev, A.M. Nikitina, R.A. Dadynskij // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. – 2018. – №3 (25). – S. 41-47. 9. Shirjaev S.N., Ageev P.G., Cherepov A.A., Petrova O.A., Frjanov V.N. Obosnovanie napravlenij razvitija sposobov i sredstv degazacii ugol'nyh shaht // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. – 2018. – №3 (25). – Pp. 28-32. (rus)
11. Karkashadze G.G. Rezul'taty opredelenija plastovogo davlenija, gazopronicaemosti i parametrov sorbcii ugol'nogo plasta po rezul'tatam shahtnyh izmerenij istechenija metana iz korotkih skvazhin / G.G. Karkashadze, E.V. Mazanik, P.N. Pashhenkov // *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*. -2016. - №9. – Pp. 259-264. (rus)
12. Karkashadze G.G. Intensifikacija degazacii ugol'nogo plasta na osnove uchjota ego geomechanicheskogo sostojanija v uslovijah nestacionarnyh mehanicheskikh i sorbcionnyh deformacij / G.G. Karkashadze, S.V. Slastunov, G.P. Ermak, E.V. Mazanik // *Ugol'*. – 2015. - №11. – Pp. 62-65. (rus)
13. Kachurin N.M. Ajerogazodinamika ochistnyh i podgotovitel'nyh uchastkov pri otrabotke moshhnyh pologih plastov / N.M. Kachurin, A.Ju. Ermakov, Val.V. Senkus. – Kemerovo: A.I. «Kuzbassvuzizdat», 2017. – 287 p. (rus)
14. Ashihmin V.D. O vnezapnyh razrushenijah pochvy gornyh vyrabotok s proryvami metana iz nadrabotannyh plastov / V.D. Ashihmin, A.G. Radchenko, A.V. Savchenko, E.A. Jalputa, N.S. Fedosova // *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk*. – Novosibirsk: IGD SO RAN. – 2017. - Tom 4. - №2. –Pp. 26-31. (rus)
15. Plaksin M.S. Gazokineticheskaja reakcija uglemetanovogo plasta pri sozdanii v njom treshhin posredstvom nagnetanija fljuidov / M.S. Plaksin, R.I. Rodin, V.I. Al'kov // *Naukojomkie tehnologii razrabotki i ispol'zovanija mineral'nyh resursov: sb. nauch. st.* – Novokuzneck: SibGIU, 2017. - Pp. 63-67. (rus)
16. Sadov A.P. Upravleniju degazacii i utilizacii metana AO «SUJeK-Kuzbass» - 10 let / A. P. Sadov // *Ugol'*. - 2018. - №12. – Pp. 38-40. (rus)
17. Ian Gray. Mining Gassy Coals// 2012 Coal Operators' Conference The University of Wollongong. Pp. 250-260.
18. Zhang L., Aziz N. I., Ren, T., Nemcik, J. and Tu, S. (2014). Influence of coal particle size on coal adsorption and desorption characteristics. *Archives of Mining Sciences*, 59 (3). Pp. 807-820.
19. Mirosław Wierzbicki. Changes in the sorption/diffusion kinetics of a coalmethane system caused by different temperatures and pressures. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*. – Tom 29. – 2013. Zeszyt 4. Pp. 155-168.

Поступило в редакцию 23.02.2020

Received 23 February 2020