ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(2):152-160
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.807 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-152-160

СОСТАВ ОСТАТОЧНЫХ ГАЗОВ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ И ОЦЕНКА ИХ РОЛИ В СОЗДАНИИ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

В.С. Лебедев[1], О.В. Скопинцева[1], Д.В. Иванов[2], П.Д. Иванов[3]

[1] Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва, Россия, e-mail: skopintseva54@mail.ru
[2] Научно-производственное предприятие «Строительство», Москва, Россия
[3] Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация: Приведены результаты исследования газов, выделяющихся из ископаемых углей различных марок при их нагревании до 200 °С. Определено содержание как углеводородных (метан и его гомологи), так и неуглеводородных (N_2, CO_2, H_2) компонентов в остаточном газе. Выполнена прогнозная оценка роли остаточных газов углей в создании пожароопасных ситуаций в угольных шахтах с учетом присутствия в них негорючих балластных компонентов. Установлено, что газы, выделяющиеся при нагревании из бурых углей и антрацитов, содержание в которых балластных негорючих газов превышает 85%, не представляют серьезной пожаровзрывоопасности. Наличие балластных газов в остаточных газах угля средней стадии метаморфизма хотя и увеличивает концентрационные пределы взрываемости в несколько раз, но не обеспечивает полной пожаровзрывобезопасности. Содержание тяжелых углеводородов C_3–C_6 в углях марок Д, Ж и ОС достаточно высокое, что позволяет предположить, что температура воспламенения остаточных газов из этих марок будет определяться в первую очередь парциальным давлением тяжелых углеводородов в воздушно-газовой смеси и малыми значениями нижних концентрационных пределов взрываемости этих компонентов, несмотря на наличие балластной составляющей. Выделяемые при нагревании углей остаточные газы могут быть пусковым механизмом дальнейшего развития пожаровзрывных процессов при повышенных концентрациях метана и угольной пыли в атмосфере шахты.

Ключевые слова: остаточные газы углей, пожаровзрывоопасность в угольных шахтах, метан, тяжелые углеводороды, негорючие балластные газы, концентрационные пределы взрываемости.

Для цитирования: *Лебедев В. С., Скопинцева О. В., Иванов Д. В., Иванов П. Д.* Состав остаточных газов ископаемых углей и оценка их роли в создании пожаровзрывоопасных ситуаций в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 2. – С. 152–160. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-152-160.

Composition of residual gases in coal and estimation of their role in fire and outburst hazards in coal mines

V.S. Lebedev[1], O.V. Skopintseva[1], D.V. Ivanov[2], P.D. Ivanov[3]

[1] Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia, e-mail: skopintseva54@mail.ru
[2] Scientific and production enterprise «Stroitelstvo», ltd, Moscow, Russia
[3] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

© В.С. Лебедев, О.В. Скопинцева, Д.В. Иванов, П.Д. Иванов. 2020.

Abstract: Examination results on gases releasing from different rank coal when heated up to 200 °C are presented. The content of hydrocarbon (methane and homologs) and non-hydrocarbon (N_2, CO_2, H_2) components of residual gas is determined. The predictive estimate of the role of residual gases in creation of fire-hazardous situations in coal mines is carried out with regard to the gas content of noncombustible impurities. It is found that gases released from heated lignite and anthracite containing more than 85% of noncombustible impurities constitute no major fire and outburst hazards. Ballast gases present in residual gases of medium rank coal, although push the explosion concentration limits by a few times, are insufficient to ensure complete fire and outburst safety. The content of heavy hydrocarbons C_3–C_6 in long-flaming, fat and lean coal is rather high, which allows supposing that the burning point of residual gases in these ranks will be governed primarily by the partial pressure of heavy hydrocarbons in air–gas mixture and by the low values of the minimum explosion concentration limit of these components despite the present ballast impurities. Residual gases releasing from coal under heating can be a trigger for fire and outburst hazard development in case of increased concentrations of methane and coal dust in mine air.

Key words: residual gases of coal, fire and outburst hazard in coal mines, methane, heavy hydrocarbons, noncombustible impurity gases, explosion concentration limits.

For citation: Lebedev V. S., Skopintseva O. V., Ivanov D. V., Ivanov P. D. Composition of residual gases in coal and estimation of their role in fire and outburst hazards in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(2):152-160. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-152-160.

Введение

При вскрытии пласта и снижении пластового давления происходит интенсивное выделение свободных и сорбированных газов. Из отбитого угля за несколько часов истекает основное количество метана, при этом сохраняются остаточные углеводородные газы (ОУВ), обогащенные тяжелыми углеводородами (ТУ). В угле эти газы могут присутствовать длительное время (10 и более лет) и интенсивно выделяются только при нагревании, механическом и других видах воздействия на уголь. Поскольку ОУВ обогащены ТУ, то их выделение повышает степень пожаровзрывоопасти (ПВО) в угольных шахтах [1—8].

В ранее опубликованных работах [1—4, 9—11] была показана роль ОУВ углей в создании пожароопасных ситуаций в угольных шахтах, при этом рассматривались лишь углеводороды. Однако при нагревании угля вместе с углеводородами выделяются и другие газы. Для оценки роли остаточных газов в создании пожаровзрывоопасных ситуаций в угольных шахтах необходимо учитывать данные о содержании в остаточных газах углей (ОГУ) как горючих, так и негорючих компонентов. Присутствие негорючих компонентов в ОГУ снижает концентрацию горючих и, как следствие, снижает степень ПВО.

Учитывая отмеченное, нами были проведены исследования содержания основных неуглеводородных и углеводородных компонентов ОГУ, выделяющихся из углей при температуре 200 °С и дана прогнозная оценка пожаровзрывоопасности ОГУ с учетом полученных результатов исследований.

Методика исследований

Для выделения и определения состава ОГУ был использован метод термической дегазации [4].

Фракция угля 0,25—0,5 мм помещалась в стеклянную или металлическую реакционную трубку и продувалась инертным газом (аргоном или гелием) для удаления воздуха. Затем трубка герметизировалась и нагревалась до температуры 200 °С, при которой выдерживалась в течение 5 мин. При нагревании из углей

в пространство трубки выделялся газ. После прогревания в трубку направлялся поток газа-носителя, который уносил выделившийся из угля газ в хроматографическую колонку газового хроматографа для определения компонентного состава этого газа. Определялось содержание углеводородов (УВ) от метана до гексана, водорода, кислорода, азота и диоксида углерода. Компонентный состав газа определялся на газовых хроматографах М-3700 и Кристалл-5000.1.

Все полученные результаты измерений рассчитывались исходя из того, что газ безвоздушный.

Результаты определений приводятся в объемных процентах (об. %) к сумме $H_2 + N_2 + УВ + CO_2$. Погрешность составляет ±5%.

Результаты и обсуждение

Состав остаточных газов углей

Определение состава газов, выделяемых при нагревании углей, проводилось и ранее.

В.С. Веселовский [12] исследовал газы, выделяющиеся при нагревании углей средней стадии метаморфизма при температуре от комнатной до 1000 °С. Им установлено, что активное выделение неуглеводородных и углеводородных газов начинает протекать при температуре около 200 °С.

Е.Я. Гаврилов и его коллеги [13] изучали выделение газов из «свежего» керна при различных температурах и способах дегазации. Ими показано, что газы, свободно выделяющиеся при комнатной температуре, по составу близки к пластовому. При термовакуумной дегазации при температуре 80 °С в выделяемом газе снижается содержание метана и увеличивается содержание диоксида углерода, пропана и бутана.

Аналогичные результаты получила Р.Р. Потокина с коллегами [14]. Приводится материал по составу газов, извлекаемых дегазацией из углей Печорского угольного бассейна средней стадии метаморфизма.

Объектами наших исследований являлись угольные пласты пермского возраста Кузнецкого угольного бассейна, каменноугольного возраста Донецкого угольного бассейна и угли из буроугольных месторождений Дальнего Востока. Пробы угля были предоставлены И.Е. Стукаловой и О.В. Скопинцевой.

Компонентный состав ОГУ для различных марок угля представлен в табл. 1. Прослеживается тенденция изменения основных компонентов ОГУ по мере увеличения степени метаморфизма угля. Наиболее высокие концентрации УВ установлены в ОГУ средней стадии метаморфизма в углях марок Д. Ж и ОС. Вместе с тем, при снижении степени преобразования угольной массы (в ОГУ бурых углей) и увеличении степени углефикации (в ОГУ антрацитов) концентрация углеводородов в ОГУ снижается.

Максимальные концентрации CO_2 установлены в ОГУ бурых углей с постепенным снижением содержания CO_2 по мере увеличения степени преобразования угольной массы (в ОГУ антрацита некоторое повышение). Содержание водорода во всех исследованных пробах не выше 1%.

Оценка роли ОГУ в создании пожаровзрывоопасных ситуаций

Рассмотрим роль ОГУ в создании ПВО ситуаций в угольных шахтах с учетом результатов, представленных в данной работе и ранее выполненных исследованиях [1—4].

При рассмотрении роли остаточных углеводородов (ОУВ) углей в создании ПВО ситуаций в угольных шахтах ранее не учитывалось, что вместе с горючими компонентами выделяются и негорючие (N_2, CO_2 и др.). Вместе с тем выделение балластных негорючих компонентов

Таблица 1

Компонентный состав остаточных газов ископаемых углей
Composition of residual gases of coal

Расположение объекта, месторождение, шахта, пласт	Отн. возраст	Марка угля	Содержание, об.%			
			H_2	УВ	N_2	CO_2
Приморский Край, разрез «Павловский»	миоцен	Б	0,1	10,6	10,1	79,3
Приморский Край, месторождение Тавричанское	миоцен	Б	0,1	12,3	8,9	78,7
Сахалин, месторождение Новиковское	неоген	Б	0,0	15,6	7,4	77,0
Кузбасс, шахта Грамотеинская, пласт Сычевский 111	пермь	Д	0,3	29,2	15,8	54,7
Кузбасс, шахта Осинниковская, пласт Е-5	пермь	Ж	0,4	35,4	26,5	37,7
Кузбасс, шахта Осинниковская, пласт Е-1	пермь	Ж	0,4	27,1	40,1	32,4
Кузбасс, шахта Осинниковская, пласт К-5	пермь	Ж	0,3	53,2	23,8	22,7
Кузбасс, шахта Алардинская, пласт 21	пермь	ОС	0,4	18,9	57,3	23,5
Донбасс, Чистяково-Снежинский район, шахта 222	карбон	ПА	0,3	2,5	82,6	14,6
Донбасс, Милеровский район, шахта Алмазная	карбон	А	0,2	1,2	67,2	31,4

приводит к уменьшению доли горючих в выделяющихся газах. При этом негорючие компоненты могут значительно «тормозить» процессы воспламенения.

В ОГУ установлено присутствие горючих компонентов: УВ и водорода. Основную потенциальную пожаровзрывоопасность представляют УВ, т.к. содержание водорода не превышает 0,4% во всех исследованных марках угля.

Потенциальная пожаровзрывоопасность ОГУ обусловлена в первую очередь присутствием в них УВ, которые кроме метана включают и тяжелые углеводо-

Таблица 2

Минимальная температура воспламенения и концентрационные пределы взрываемости отдельных УВ в воздухе [15—17]
Minimal burning point and explosion concentration limits for some hydrocarbons in air [15–17]

УВ	Минимальная температура воспламенения, °С	Концентрационные пределы взрываемости, об.%	
		нижний	верхний
Метан	595	5,0	15,0
Этан	515	3,2	12,5
Этилен	435	3,0	16,0
Пропан	466	2,4	9,5
Пропилен	435	2,4	10,0
Бутан	430	1,9	8,4
Бутилен	445	1,7	9,0
Пентан	285	1,5	7,8
Гексан	233	1,0	8,4

роды, такие как пропан, бутан, пентан, гексан и др. Температура воспламенения и концентрационные пределы воспламенения ТУ намного ниже, чем у метана (табл. 2).

В табл. 3 показано содержание углеводородов углей, представленных в табл. 1. Содержание CH_4 сопоставимо с суммой C_2—C_6 лишь в ОГУ бурых углей. Наиболее высокое содержание пропана, бутана и пентана установлено в ОГУ углей средней стадии метаморфизма.

В угольных шахтах тепловое воздействие на уголь происходит во многих процессах: при отделении угля от массива, его транспортировке и других. Нагревание угля приводит к выделению из угля ОГУ, обогащенных ТУ, что повышает потенциальные ПВО риски в шахтном пространстве. Однако на практике не представляется возможным точно рассчитать температуру воспламенения смеси ОГУ, выделяющихся при нагревании угля.

В статье В.М. Юрченко [18] приводятся материалы исследований, позволяющие оценить температуру воспламенения угля в воздухе под воздействием теплового импульса при работе шахтного ленточного конвейера для транспортировки угля, при неправильной эксплуатации которого на локальных участках может возникать нагрев до 300—500 °С. Приводятся результаты термических исследований угля на дериватографе, по кото-

Таблица 3

Содержание УВ в остаточных газах углей (об.%)
Content of hydrocarbons in residual gases of coal (% by volume)

Марка угля	Объект	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_3H_8	C_3H_6	C_4H_{10}	C_4H_8	C_5H_{12}	C_6H_{14}
Б	Приморский Край, Павловский разрез	4,7	0,5	2,0	0,7	1,2	0,4	0,5	0,3	0,3
	Приморский Край, месторождение Тавричанское	4,5	0,7	3,5	0,9	2,2	0,6	0	0	0
	Сахалин, месторождение Новиковское	6,4	1,3	4,1	0,8	2,2	0,7	0	0	0
Д	Кузбасс, шахта Грамотеинская, пласт Сычевский 111	4,0	0,9	1,1	2,9	1,8	6,8	1,3	7,4	2,9
Ж	Кузбасс, шахта Осинниковская, пласт Е-5	2,1	0,9	0,5	15,5	0,4	13,8	0,6	1,1	0,6
	Кузбасс, шахта Осинниковская, пласт Е-1	2,4	0,9	0,6	6,4	0,7	14,4	0	0	1,1
	Кузбасс, шахта Осинниковская, пласт К-5	1,8	0,6	0,5	11,7	0,5	3,7	0,7	10	3,9
ОС	Кузбасс, шахта Алардинская, пласт 21	2,7	0,3	0,3	1,3	0,3	7,9	0,9	2,0	3,2
ПА	Донбасс, Чистяково-Снежинский район, шахта 222	1,7	0,8	0	0	0	0	0	0	0
П	Донбасс, Милеровский район, шахта Алмазная	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4

Расчетные пределы взрываемости смеси воздуха и остаточных газов углей
Estimated explosion limits for mixture of air and residual coal gases

Марка угля	Объект	Расчетные концентрационные пределы взрываемости «чистой» смеси УВ, об.%		Расчетные концентрационные пределы взрываемости реальных ОГУ с балластными газами, об.%	
		нижний	верхний	нижний	верхний
Б	Приморский Край, Павловский разрез	2,9	12,7	—	—
	Приморский Край, месторождение Тавричанское	3,0	13,2	—	—
	Сахалин, месторождение Новиковское	3,1	13,5	—	—
Д	Кузбасс, шахта Грамотеинская, пласт Сычевский 111	1,8	9,3	9,1	37,7
Ж	Кузбасс, шахта Осинниковская, пл. Е-5	2,1	9,3	9,8	24,6
	Кузбасс, шахта Осинниковская, пл. Е-1	2,1	9,3	13,1	29,8
	Кузбасс, шахта Осинниковская, пл. К-5	1,8	8,7	4,1	16,7
ОС	Кузбасс, шахта Алардинская, пл. 21	1,8	9,2	18,3	36,6
ПА	Донбасс, Чистяково-Снежинский район, шахта 222	4,2	14,1	—	—
П	Донбасс, Милеровский район, шахта Алмазная	5,0	15,0	—	—

рым определялась температура воспламенения угля марок Г, Ж и КО Кузнецкого угольного бассейна. Температура воспламенения варьировала от 260 °С до 370 °С. Учитывая результаты исследований, В.М. Юрченко предполагает возможность воспламенения штыба угля на конвейере в результате воспламенения летучих веществ, в состав которых входят и ОГУ, выделяющиеся из угля при нагревании.

Полученные нами данные для углей марок Д, Ж и ОС, в которых концентрации УВ C_3—C_6 значительны и достигают десятков процентов в ОГУ, позволяют предположить, что температура воспламенения смеси будет определяться в первую очередь парциальным давлением ТУ в выделяемой в шахтную атмосферу газовой смеси и концентрационными пределами взрываемости именно пропана, пентана и гексана.

Влияние балластных компонентов ОГУ на ПВО ситуации

В составе ОГУ присутствуют не только горючие компоненты, но и негорючие балластные газы, а именно, азот и диоксид углерода, наличие которых необходимо учитывать при прогнозных оценках. Присутствие в ОГУ балласта увеличивает пределы воспламеняемости.

Выполненные на основе эмпирических данных и принципа Ле-Шателье [17] модельные расчеты показали, что при повышении содержания балласта в вы-

деляющихся из угля газах выше определенных пределов формируется невоспламеняющаяся воздушногазовая смесь. Это, как видно из табл. 4, характерно для бурого угля и антрацитов, в ОГУ которых доля балласта составляет 85% и более, то есть воспламенение ОГУ бурых углей из-за высокого содержания CO_2 и углей марок ПА и А низкого содержания УВ практически невозможно.

Вместе с тем наличие балластных газов в ОГУ марок Д, Ж и ОС хотя и существенно увеличивает концентрационные пределы взрываемости, но не обеспечивают пожаровзрывобезопасность. В первую очередь, это характерно для пробы угля марки Ж из Кузбасского бассейна, шахты Осинниковская, пласта К-5, в которой содержание балластных газов составило 46,5%, вследствие чего концентрационные пределы увеличились только вдвое.

Заключение

1. Выделяющиеся при нагревании из бурых углей и антрацитов ОГУ, содержание в которых балластных негорючих газов превышает 85%, не представляют серьезной пожаровзрывоопасности.

2. Наличие балластных газов в ОГУ средней стадии метаморфизма хотя и увеличивает концентрационные пределы взрываемости в несколько раз, но не обеспечивают полной пожаровзрывобезопасности.

3. Содержание тяжелых углеводородов C_3—C_6 в углях марок Д, Ж и ОС достаточно высокое, что позволяет предположить, что температура воспламенения ОГУ из этих марок будет определяться в первую очередь парциальным давлением ТУ в воздушно-газовой смеси и малыми значениями нижних концентрационных пределов взрываемости этих компонентов, несмотря на наличие балластной составляющей.

4. Выделяемые при нагревании углей остаточные газы могут быть пусковым механизмом дальнейшего развития пожаровзрывных процессов при повышенных концентрациях метана и угольной пыли в атмосфере шахты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лебедев В. С.*, *Стукалова И. Е.* Содержание и состав глубокосорбированных углеводородов в гумусовых углях Донецкого угольного бассейна // Известия вузов. Геология и разведка. — 2013. — № 2. — С. 79—82.

2. *Лебедев В. С.*, *Скопинцева О. В.*, *Савельев Д. И.* Исследование остаточной газоносности угля при тепловом воздействии // Горный журнал. — 2014. — № 5. — С. 20—21.

3. *Лебедев В. С.*, *Стукалова И. Е.* Особенности состава углеводородов остаточных газов бурых углей // Известия вузов. Геология и разведка. — 2014. — № 4. — С. 49—53.

4. *Лебедев В. С.*, *Иванов Д. В.*, *Скопинцева О. В.*, *Савельев Д. И.* Оценка роли глубокосорбированных углеводородов угольных пластов в возникновении пожароопасных ситуаций в угольных шахтах // Известия вузов. Геология и разведка. — 2010. — № 2. — С. 86—88.

5. *Wei Jianping, Wang Honglei, Wang Dengke, Yao Banghua* An improved model of gas flow in coal based on the effect of penetration and diffusion // Journal of China University of Mining and Technology. 2016. Iss. 5. Pp. 873—878.

6. *Yao Banghua, Ma Qingqing, Wei Jianping, Ma Jianhong, Cai Donglin* Effect of protective coal seam mining and gas extraction on gas transport in a coal seam // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Iss. 4. Pp. 637—643.

7. *Xuelong Li, Enyuan Wang, Zhonghui Li, Zhentang Liu, Dazhao Song, Liming Qiu* Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2016. Vol. 49. Iss. 11. Pp. 4393—4406.

8. *Dorostkar O., Guyer R. A., Johnson P. A., Marone Ch., Carmeliet J.* On the role of fluids in stick-slip dynamics of saturated granular fault gouge using a coupled computational fluid

dynamics-discrete element approach // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2017. Vol. 122. Iss. 5. Pp. 3689—3700.

9. *Баловцев С. В.* Оценка схем вентиляции с учетом горно-геологических и горнотехнологических условий отработки угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 6. — С. 173—183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.

10. *Баловцев С. В.* К методике прогноза взрывобезопасности выемочных участков угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 11. — С. 218—226. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-218-226.

11. *Баловцев С. В.* Оценка аэрологического риска аварий на выемочных участках угольных шахт, опасных по взрывам газа и пыли // Горный журнал. — 2015. — № 5. — С. 91—93. DOI: 10.17580/gzh.2015.05.19.

12. *Веселовский В. С.* Химическая природа горючих ископаемых. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 423 с.

13. *Гаврилов Е. Я.*, *Теплинский Г. А.*, *Осипова М. Г.* Изотопный состав углерода метана и его гомологов во фракциях дегазации угля / XX всесоюзный симпозиум по геохимии стабильных изотопов. — М., 1989. — С. 296—298.

14. Потокина Р. Р., *Журавлева Н. В.*, *Исмагилов З. Р.*, *Трясунов Б. Г.*, *Малышева В. Ю.* Изучение системы уголь—газ углей Печорского угольного бассейна // Химия в интересах устойчивого развития. — 2015. — № 23. — С. 125—129.

15. ГОСТ 12.1.011-78. Система стандартов безопасности труда. Смеси взрывоопасные. — 530 с.

16. *Топоров А. А.*, *Власов Г. А.*, *Третьяков П. В.* Основы экологической и безопасной техники. — Донецк: ДНТУ, 2005. — 36 с.

17. *Справочник* химика 21. Химия и химическая технология. www.chem21.info/info/87953/

18. *Юрченко В. М.* О возможности пожара на ленточном конвейере из-за воспламенения штыба угля // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2016. — № 3. — С. 47—51. ГИАБ

REFERENCES

1. Lebedev V. S., Stukalova I. E. Content and composition of deeply sorbed hydrocarbons in the humus coals of the Donetsk coal basin. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 2013, no 2, pp. 79—82. [In Russ].

2. Lebedev V. S., Skopintseva O. V., Savel'ev D. I. Research of residual gas-bearing capacity of coal with thermal influence. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 5, pp. 20—21. [In Russ].

3. Lebedev V. S., Stukalova I. E. Features of the hydrocarbon composition of the residual gases of brown coal. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 2014, no 4, pp. 49—53. [In Russ].

4. Lebedev V. S., Ivanov D. V., Skopintseva O. V., Savel'ev D. I. Assessment of the role of deeply sorbed hydrocarbons in coal seams in the occurrence of fire hazard situations in coal mines. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 2010, no 2, pp. 86—88. [In Russ].

5. Wei Jianping, Wang Honglei, Wang Dengke, Yao Banghua An improved model of gas flow in coal based on the effect of penetration and diffusion. *Journal of China University of Mining and Technology*. 2016. Iss. 5. Pp. 873—878.

6. Yao Banghua, Ma Qingqing, Wei Jianping, Ma Jianhong, Cai Donglin Effect of protective coal seam mining and gas extraction on gas transport in a coal seam. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26. Iss. 4. Pp. 637—643.

7. Xuelong Li, Enyuan Wang, Zhonghui Li, Zhentang Liu, Dazhao Song, Liming Qiu Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2016. Vol. 49. Iss. 11. Pp. 4393—4406.

8. Dorostkar O., Guyer R. A., Johnson P. A., Marone Ch., Carmeliet J. On the role of fluids in stick-slip dynamics of saturated granular fault gouge using a coupled computational fluid dynamics-discrete element approach. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2017. Vol. 122. Iss. 5. Pp. 3689—3700.

9. Balovtsev S. V. Assessment of ventilation circuits with regard to geological and geotechnical conditions of coal seam mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(6):173-183. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.

10. Balovtsev S.V. Explosion safety procedure for working areas in coal mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 11, pp. 218—226. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-218-226.

11. Balovtsev S.V. Aerological risk assessment in working areas of gas and dust explosion-hazardous coal mines. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 5, pp. 91—93. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2015.05.19.

12. Veselovskiy V.S. *Khimicheskaya priroda goryuchikh iskopaemykh* [Chemical nature of fossil fuels], Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1955, 423 p.

13. Gavrilov E.Ya., Teplinskiy G.A., Osipova M.G. Isotopic composition of methane carbon and its homologues in coal degassing fractions. *XX vsesoyuznyy simpozium po geokhimii stabil'nykh izotopov* [XX All-Union Symposium on the geochemistry of stable isotopes], Moscow, 1989, pp. 296—298.

14. Potokina R.R., Zhuravleva N.V., Ismagilov Z.R., Tryasunov B.G., Malysheva V.Yu. The study of the coal-gas system of coal of the Pechora coal basin. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2015, no 23, pp. 125—129. [In Russ].

15. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Smesi vzryvoopasnye. GOST 12.1.011-78* [Occupational safety standards system. Explosive mixtures. State Standart 12.1.011-78].

16. Toporov A.A., Vlasov G.A., Tret'yakov P.V. *Osnovy ekologicheskoy i bezopasnoy tekhniki* [Fundamentals of environmental and safe technology], Donetsk, DNTU, 2005, 36 p.

17. *Spravochnik khimika 21. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. www.chem21.info/info/87953/

18. Yurchenko V.M. On the possibility of a fire on a conveyor belt due to ignition of a coal block. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti*. 2016, no 3, pp. 47—51. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лебедев Владимир Сергеевич[1] — д-р геол.-мин. наук, профессор,
e-mail: vslebed@yandex.ru,
Скопинцева Ольга Васильевна[1] — д-р техн. наук, профессор,
e-mail: skopintseva54@mail.ru,
Иванов Дмитрий Владимирович — канд. геол.-мин. наук, инженер,
Научно-производственное предприятие «Строительство»,
e-mail: ivanovdv2007@yandex.ru,
Иванов Павел Дмитриевич — старший преподаватель,
e-mail: ivanovpd@yandex.ru, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
[1] Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ).
Для контактов: Скопинцева О.В., e-mail: skopintseva54@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.S. Lebedev[1], Dr. Sci. (Geol. Mineral.), Professor, e-mail: vslebed@yandex.ru,
O.V. Skopintseva[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: skopintseva54@mail.ru,
D.V. Ivanov, Cand. Sci. (Geol. Mineral.), Engineer,
e-mail: ivanovdv2007@yandex.ru,
Scientific and Production Enterprise «Stroitelstvo», ltd, Moscow, Russia,
P.D. Ivanov, Senior Lecturer, e-mail: ivanovpd@yandex.ru,
Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russia,
[1] Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University
(MGRI-RSGPU), 117997, Moscow, Russia,
Corresponding author: O.V. Skopintseva, e-mail: skopintseva54@mail.ru.

Получена редакцией 27.11.2019; получена после рецензии 23.12.2019; принята к печати 20.01.2020.
Received by the editors 27.11.2019; received after the review 23.12.2019; accepted for printing 20.01.2020.