

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.822

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-79-90

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ И ГАЗОВЫХ СЪЕМОК ДЛЯ
ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛОКАЦИИ ОЧАГОВ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ НА
ВЫХОДАХ ПЛАСТОВ ЛИКВИДИРОВАННОЙ ШАХТЫ****Портола Вячеслав Алексеевич¹, Бобровникова Алена Александровна¹,
Ковалев Сергей Владимирович², Киренберг Евгений Александрович¹**¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева²ООО Научно-исследовательский институт горноспасательного дела

*для корреспонденции: portola2@yandex.ru

**Информация о статье**

Поступила:

06 апреля 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 июня 2023 г.

Принята к публикации:

20 июня 2023 г.

Опубликована:

30 июня 2023 г.

Ключевые слова:самовозгорание угля,
эндогенный пожар, выход
пластов угля, температурная
съемка, газовая съемка, оксид
углерода, радон.**Аннотация.**

В статье приведены результаты исследования очагов самовозгорания, возникших на выходах угольных пластов ликвидированной шахты. Развитию эндогенных пожаров способствовали провалы, образовавшиеся при выемке угля, а также углесодержащая порода, использованная для засыпки провалов. Для обнаружения и локализации очагов эндогенных пожаров использовалась температурная съемка пород на глубину 1,0-1,5 м, а также замер потоков радона с поверхности датчиками, заполненными активированным углем, и концентрации оксида углерода в породах. Проведенные температурная и газовая съемка позволили выявить очаги самовозгорания с температурой более 500°C. Концентрация оксида углерода в аномалии достигала 1,0%, что представляет опасность для жизни людей. Потоки радона с земной поверхности над очагами самовозгорания доходили до 1418 мБк/(м²·с), что значительно превышает фоновые значения, равные 20-50 мБк/(м²·с). На прогретой земной поверхности потоки радона снижаются, что можно объяснить снижением сорбции газа активированным углем. Газовые аномалии обнаружены и над не горящими пластами, что можно объяснить смещением газов при выходе на поверхность. Установлено, что совмещение температурной и газовой съемки позволяет повысить эффективность локализации очагов подземных пожаров.

Для цитирования: Портола В.А., Бобровникова А.А., Ковалев С.В., Киренберг Е.А. Применение температурной и газовых съемок для обнаружения и локализации очагов эндогенных пожаров на выходах пластов ликвидированной шахты // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 3 (157). С. 79-90. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-79-90, EDN: UILKGM

Введение

Эндогенные пожары являются одной из самых распространенных аварий на угольных предприятиях [1]. В подземных условиях очаги самовозгорания представляют угрозу жизни и здоровью шахтеров из-за распространения выделяющихся токсичных газов по горным выработкам на большие расстояния. Основная доля эндогенных пожаров, зарегистрированных в шахтах, возникает в выработанном пространстве, что значительно затрудняет обнаружение очагов и их тушение. В наиболее опасных случаях процессы самовозгорания угля могут

спровоцировать взрывы горючих газов, выделяющихся из пластов [2]. Участие угольной пыли существенно увеличивает мощность взрыва. Экономический ущерб, наносимый эндогенными пожарами горным предприятиям, обусловлен потерями угля, действующих горных выработок, горнодобывающего оборудования, а также затратами на ликвидацию аварий.

Исследованием эндогенной пожароопасности и условий развития очагов самовозгорания угля в шахтах занимался академик А.А. Скочинский [3]. Особенности процесса окисления угля кислородом воздуха и выделяющегося при этом тепла изучал В.С. Веселовский [4]. Влияние различных внешних факторов и свойств угля на процесс самовозгорания оценено в работах [5, 6, 7]. Уменьшение размера частиц угля увеличивает опасность самовозгорания [8]. Учитывая, что эндогенные пожары возникают и в породных отвалах, в статье [9] приведены результаты исследования составов горных пород горящих терриконов. Продукты горения подземных пожаров негативно действуют на окружающую среду [10]. Для предотвращения развития процесса самовозгорания угля используются различные антипирогены. Так, в [11] изучено воздействие водных составов антипирогенов на константу скорости сорбции кислорода и длительность инкубационного периода самовозгорания бурого угля.

Тушение подземных эндогенных пожаров предусматривает применение различных хладагентов. Максимальный теплосъем с разогретого угля производит подача в очаг воды, глинистой пульпы. Объемную обработку выработанного пространства и изоляцию очага от свежего воздуха обеспечивает нагнетание пены [12]. Широко используются для борьбы с эндогенными пожарами в шахтах и инертные газы [13], способные предотвратить выделение тепла в очаге и взрывы горючих газов. Эффективность тушения подземных эндогенных пожаров зависит от качества применяемых способов обнаружения и локализации очагов самовозгорания. Традиционным способом обнаружения процессов самовозгорания является газоаналитический, предусматривающий контроль содержания в рудничной атмосфере таких образующихся при окислении угля газов, как оксид углерода, водород, углеводороды [3, 14]. Повысить эффективность определения месторождения подземных очагов самовозгорания позволяет применение в качестве индикаторного газа радона [15].

Практика показывает, что, несмотря на принимаемые меры, многие эндогенные пожары могут сохраняться на угледобывающих предприятиях несколько лет или даже десятилетий. Так, на ликвидированной шахте «Центральная» в г. Прокопьевске за время ведения очистных работ зафиксировано 105 эндогенных пожаров, включая рецидивы, причем на момент ликвидации на шахте имелось три действующих подземных пожара. Пожар № 598 по пл. Горелому существовал на шахте на момент закрытия более 25 лет. За это время для тушения пожара пробурено 111 скважин, в которые подано около 40715 м³ глинистой пульпы. Пожар № 687р на пл. Мощном действовал около 13 лет, для его ликвидации пробурено 78 скважин и подано 23450 м³ глинистой пульпы, 37500 м³ инертной вспененной глинистой пульпы, 7360 м³ пеногеля и 1440 м³ геля.

Большая химическая активность угля отрабатываемых пластов предопределила повышенную опасность возникновения эндогенных пожаров и после ликвидации шахты. Наиболее опасными являются зоны выходов пластов под наносы, где может происходить контакт оставшегося угля с кислородом атмосферного воздуха. Усугубляет ситуацию с эндогенными пожарами образование при ведении очистных работ провалов на земной поверхности в местах выходов пластов и применение для их засыпки горных пород с высоким содержанием угля.

В работе приведены результаты исследований температуры и состава газов над очагами самовозгорания, возникшими на горном отводе ликвидированной шахты «Центральная» на выходах пластов Угловой, Встречный, Пятилетка, Юнгор, Пионер, Сложный, а также оценка состояния поверхности. Мощность наносов над выходами пластов около 2-3 м. Работы осложняло образование провалов на поверхности от ведения горных работ по добыче угля. На момент замеров уровень подземных вод в горных выработках ликвидированной шахты «Центральная» находился на отметке +228 м. Расстояние от поверхности до уровня воды составляло около 50 м. Уровень воды продолжает подниматься. Так, за месяц подъем воды составил 1 м.

Используемое оборудование

Для оценки состояния очагов эндогенных пожаров использовалась температурная съемка горных пород, измерение концентрации оксида углерода в приповерхностном слое и потоков

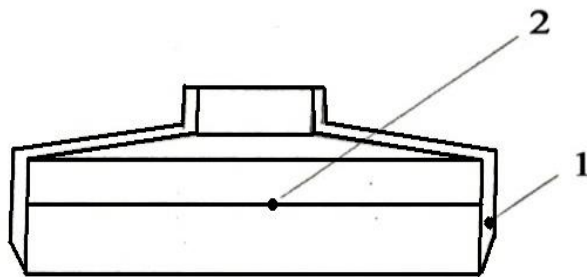


Рис. 1. Схема накопительной камеры: 1 – корпус; 2 – сетка
 Fig. 1. Scheme of the accumulation chamber: 1 – housing; 2 – mesh

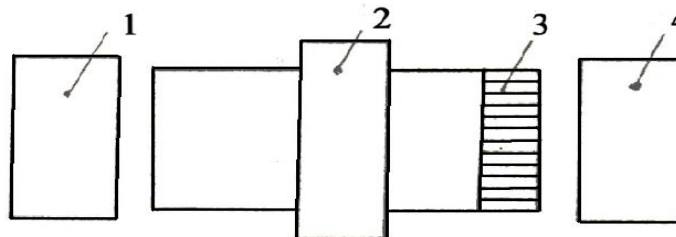
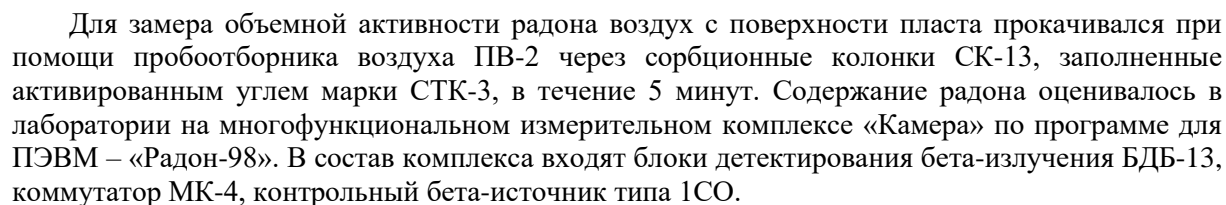


Рис. 2. Схема сорбционной колонки СК-13:
 1 – верхняя крышка; 2 – корпус; 3 – крышка с сеткой; 4 – нижняя крышка
 Fig. 2. Scheme of the sorption column SK-13:
 1 – top cover; 2 – body; 3 – cover with mesh; 4 – bottom cover

радона с земной поверхности. Определение температуры горных пород осуществлялось в скважинах на глубине 1,0 - 1,5 м. Скважины пробивали пиками. В местах, недоступных для пробивки скважин (зоны активного горения с высокой температуры поверхности, зоны провала от выгорания угля), замеряли температуру поверхности. Для определения температуры использовали измеритель температуры портативный (ИТП) с диапазоном измеряемых температур от -40 до $+800^{\circ}\text{C}$ и термометр малогабаритный полупроводниковый ТМП-2. Температуру очагов горения, недоступных для замера контактными термометрами, измеряли пирометром «Питон-106».

Основным индикатором процесса самовозгорания угля является оксид углерода, образующийся в условиях недостатка кислорода при окислении углерода. Учитывая зависимость выделения оксида углерода от температуры угля, появляется возможность оценить температуру подземных очагов самовозгорания по содержанию этого пожарного газа. По газовым аномалиям можно определить местонахождение очага пожара на глубине до 300-500 м. Концентрацию оксида углерода замеряли в скважинах, пробиваемых пиками, на глубине 1,0 м от поверхности. Измерения содержания оксида углерода производили на месте работы портативным газоанализатором МАГ-6 ПК и в лаборатории. Газовые пробы, откачиваемые из скважин, помещали в резиновые камеры, а затем исследовали в лаборатории на хроматографе «Кристалл-5000.2».

Одним из признаков подземных очагов является образование на земной поверхности аномалий газа радона [15]. Повышение температуры горных пород приводит к возникновению конвективных потоков воздуха, выносящих радон, образующийся при распаде радия, содержащегося в горных породах, на земную поверхность. Для поиска аномальных выделений радона на поверхности было проведено измерение плотности потока радона. Замеры проводились путем размещения на земной поверхности накопительных камер НК-32 (Рис. 1), в которые пересыпался активированный уголь марки СКТ-3 из сорбционных колонок СК-13 (Рис. 2). Сверху на накопительные камеры помещалась защитная колонка, предотвращающая попадание радона из окружающей среды. Время экспонирования накопительных камер составляло не менее 1 часа. Активность радона определялась по интенсивности бета-излучения радона, сорбированного активированным углем.



Пласт Сложный имеет угол падения 50°. Мощность пласта около 2,5 м. Горные работы в зоне возникновения эндогенного пожара проводились в 1948 г. Мощность наносов над выходом пласта около 3 м. На земной поверхности образовались провалы, для засыпки которых использовалась горная порода с большим содержанием горючей массы. Очаги самовозгорания на месте выходов пласта зафиксированы не менее двух лет назад. Результаты замера температуры пород на поверхности приведены на Рис. 3.

GEOMECHANICS, DESTRUCTION OF ROCKS BY EXPLOSION, MINE AEROGASDYNAMICS AND MINING THERMOPHYSICS

провала составляет около 10 м. Пожар активно развивается, чему способствует не только уголь пласта, но и горная порода с содержанием значительного количества горючего вещества, которую использовали для заполнения образовавшихся на поверхности провалов. Большая площадь обнажения углесодержащих пород у бортов провала способствует интенсивному притоку воздуха к горючему веществу. В результате интенсивного окисления происходит выгорание горючей массы у борта провала, что способствует нагреву пород до температуры более 500°C и образованию трещин в горной массе.

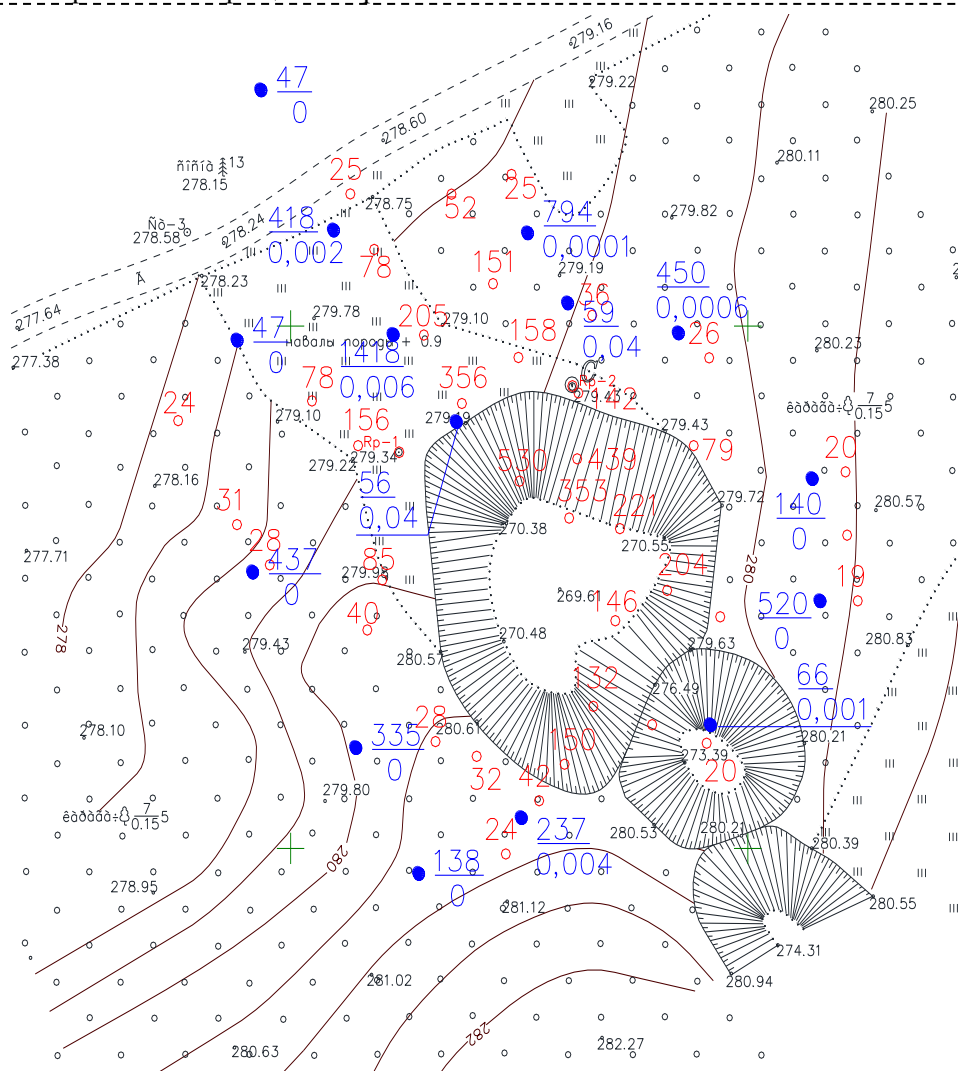


Рис. 4. Результаты замера оксида углерода и радона над пластом Сложный:

237 -- – плотность потока радона, мБк/(м²·с)

0,004 – концентрация оксида углерода, %

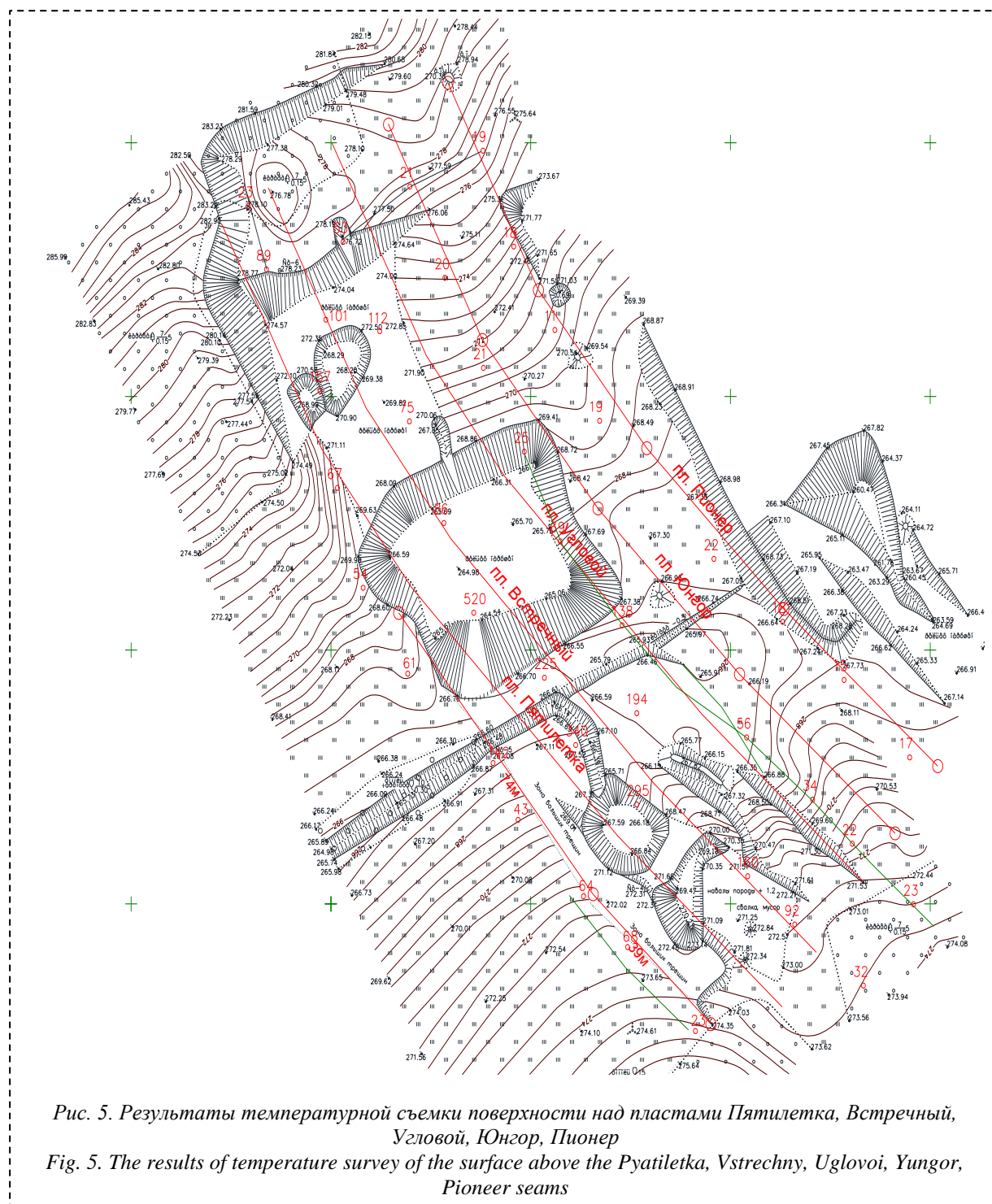
Fig. 4. The results of measuring carbon monoxide and radon above the Slozhnyi seam:

237 -- -- radon flux density, mBq/(m²·s)

0.004 – concentration of carbon monoxide, %

Замеры показали, что размер площади прогрева на поверхности составляет 70 м по простиранию пласта и 50 м в крест простирания. Причем тепло от горящего борта провала привело к нагреву дна провала и прилегающих к провалу горных пород. По мере удаления от эпицентра пожара температура пород снижается. Максимальная температура зафиксирована на бортах провала и составляет 530°C.

Приповерхностная газовая и радоновые съемки (Рис. 4) позволили выявить газовые аномалии, образующиеся от продуктов окисления угля и потоков радона, выносимого конвективными потоками воздуха из выработанного пространства. Замеры показали, что концентрация оксида углерода в почве доходит до 0,04% в зонах с температурой около 300°C.



Потоки радона с поверхности достигали $1418 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, что значительно превышает фоновые значения. Причем над наиболее прогретыми участками поверхностного слоя повышенного выделения радона практически не зафиксировано. Объяснить это явление можно незначительной сорбцией радона нагретым от очага активированным углем, используемым в диффузионных сборниках.

Сопоставление температурной и газовых съемок показывает, что прогрелись только выходы пластов и углесодержащие породы глубиной до 3 м от контакта поверхности с атмосферным воздухом. Аномалия пожарных газов имеет большую площадь, чем температурная, что может свидетельствовать о перемещении очага по падению пласта. Продукты окисления угля (оксид углерода) выходят на земную поверхность, а почва еще не прогрелась из-за небольшого коэффициента теплопроводности углесодержащих пород.

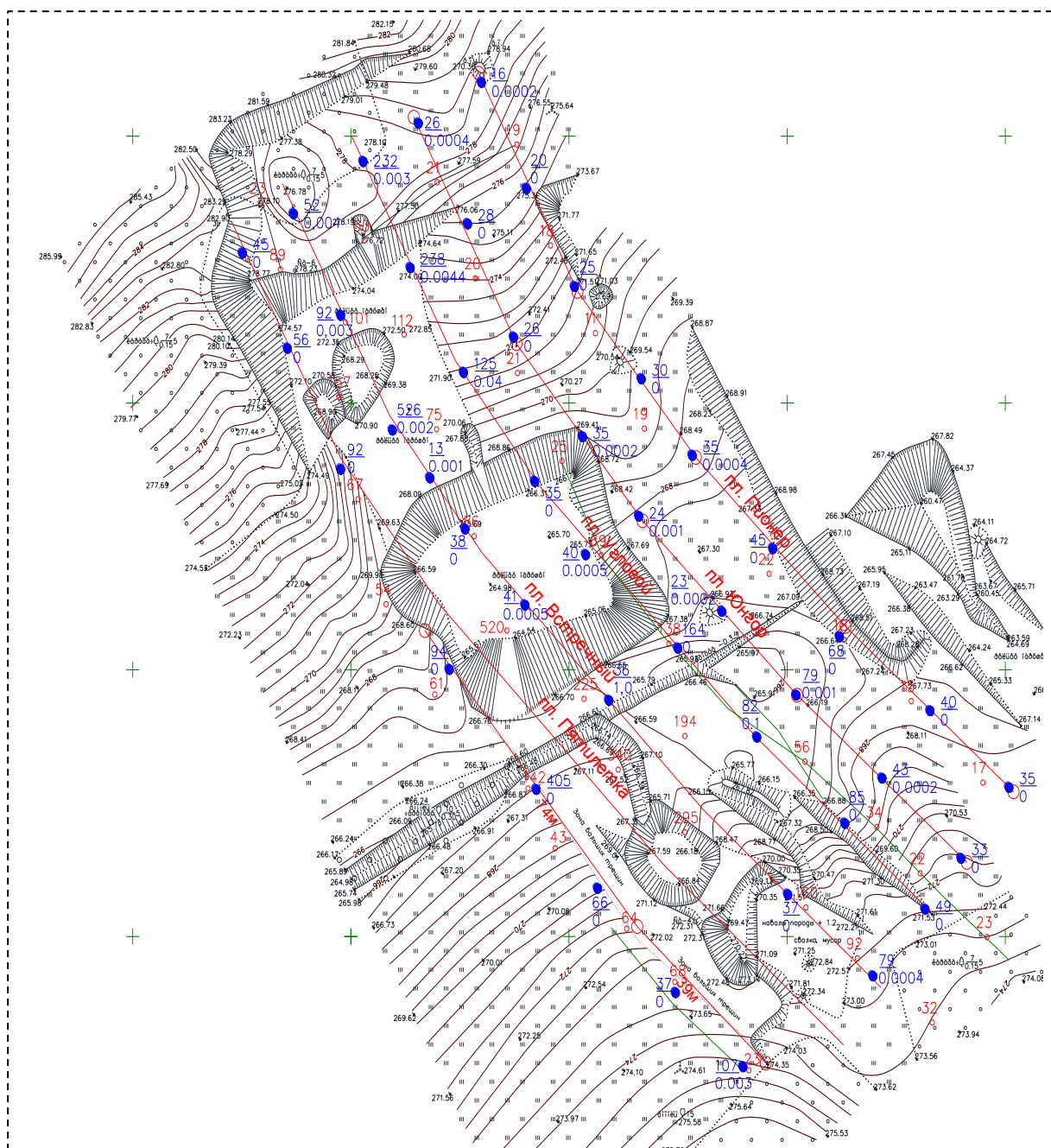


Рис. 6. Результаты замера оксида углерода и радона над пластами Угловой, Встречный, Пятилетка, Юнгор, Пионер:

16 ---- — плотность потока радона, мБк/(м²·с)
0,0007 — концентрация оксида углерода, %

Fig. 6. Results of carbon monoxide and radon measurements above the Uglovoy, Vstrechny, Pyatiletka, Yungor, Pioneer seams:

16 ---- — radon flux density, mBq/(m²·s)
0.0007 — carbon monoxide concentration, %

Углы падения пластов Угловой, Встречный, Пятилетка, Юнгор и Пионер составляют 70°. Мощность пласта Пятилетка равна 3,9 м, пл. Встречный 3,2 м, пл. Угловой 1,3 м. Мощность наносов над выходами пластов около 2 м. Пожар на выходах пластов был обнаружен за три года до проведения съемки. Размеры пожара непрерывно увеличиваются, что свидетельствует о необходимости срочных работ по тушению.

Проведенное обследование показало, что над выходами пластов на расстоянии около 230 м по простиранию имеется многоочаговый пожар. Показания температуры пород приведены на

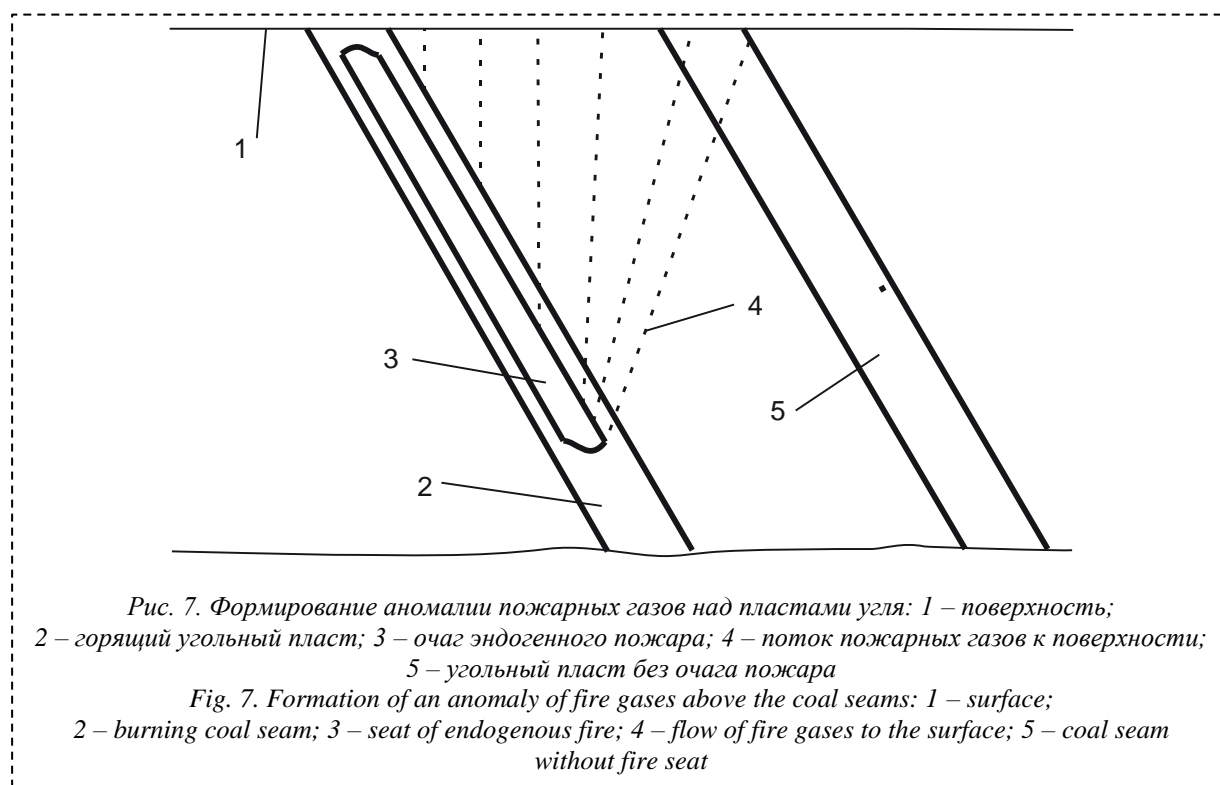


Рис. 5. Можно выделить пять очагов горения, температура в эпицентре которых достигает до 200-500° С. Возникновению очагов эндогенного пожара и их распространению способствовали обнаженные пласты угля и горные породы с высоким содержанием горючего вещества, используемые для засыпки провалов, образующихся при ведении горных работ. Часть деревьев на поверхности погибла от высокой температуры горных пород.

Замеры температуры показали, что наиболее интенсивно горят выхода пласта Пятилетка. Очаги пожара распространились на пласт Встречный, находящийся в 10 м от пл. Пятилетка, и на пласт Угловой, располагающийся в 20 м от пл. Встречный. На выходах пластов можно выделить пять очагов, температура в которых существенно превышает температуру окружающей горной массы. Максимальная зарегистрированная температура пород составляет 520°С и находится над пластом Пятилетка. Процесс самовозгорания способствовал выгоранию угля, проседанию поверхности, образованию трещин и провалов, что интенсифицировало приток воздуха к очагам. Зона прогрева от наиболее интенсивного очага горения частично распространилась и на пласт Юнгор, находящийся в 16 м от пл. Угловой.

Результаты газовой съемки над пластами представлены на Рис. 6.

Газовая съемка показала, что аномалия оксида углерода располагается над пластами Угловой, Встречный, Пятилетка, Юнгор и частично захватила пласт Пионер. Концентрация оксида углерода в почве в зонах интенсивного горения достигает 1,0%, что свидетельствует о высокой температуре угля в очагах и недостатке кислорода в зоне окисления горючих компонентов. Такое содержание оксида углерода значительно превышает предельно допустимую концентрацию оксида углерода (0,0017%) в воздухе рабочих зон, что может представлять угрозу не только здоровью, но и жизни людей. Однако поток радона в этой точке небольшой, что можно объяснить высокой температурой почвы, способствующей снижению сорбции радона на используемом активированном угле. Отсутствие температурной аномалии над пластом Пионер может указывать на то, что источником выделения оксида углерода могут быть соседние горящие пласты Юнгор и Угловой. Очаги самовозгорания этих пластов создают потоки пожарных газов на поверхность, выходящих над соседними не горящими пластами угля (Рис. 7).

Поступление пожарных индикаторных газов к поверхности (в том числе оксида углерода и радона) происходит благодаря конвективным потокам газов, возникающим под действием тепловой депрессии, развиваемой очагами самовозгорания. Под действием молекулярной

диффузии газы смещаются относительно вертикальной проекции очага на земную поверхность, поэтому размеры газовой аномалии на земной поверхности всегда больше, чем размер очага подземного пожара. Длина тепловой и газовой аномалии составляет 230 м по простиранию пластов и 75 м в крест простирания с общей площадью 17250 м². Объем прогретой горной массы при средней глубине прогрева около 3 м составляет 51750 м³.

Выводы

Проведенные исследования показали, что на ликвидированных шахтах могут возникать эндогенные пожары. Наиболее вероятным местом формирования очагов самовозгорания являются выходы угольных пластов на поверхность. Образование провалов над отработанными пластами способствует поступлению воздуха к оставленному углю. Опасность появления очагов самовозгорания существенно увеличивается в случае использования углесодержащих пород для засыпки провалов.

Тепловая съемка показала, что температура поверхности в очагах достигает 530°C. Размер тепловой аномалии над пластом Сложный составляет 70 x 50 м. На выходах пластов Угловой, Встречный, Пятилетка, Юнгор и Пионер прогретая зона достигает 230 м по простиранию пластов и 75 м в крест простирания с образованием пяти выраженных температурных аномалий.

Концентрация оксида углерода в почве достигала 1,0%. С понижением температуры содержание газа падало до 0,006-0,002%. Четкой связи потоков радона с температурой пород не прослеживается. Фоновые потоки радона за пределами тепловых аномалий равны 20-50 мБк/(м²·с). Максимальный зарегистрированный поток доходит до 1418 мБк/(м²·с). Однако на поверхности с нагретыми горными породами потоки радона резко снижаются, что можно объяснить низкой сорбционной способностью нагретого активированного угля, используемого для поглощения радона.

При наличии сближенных пластов очаг подземного пожара одного угольного пласта может формировать на земной поверхности газовую аномалию, располагающуюся и над выходами не горящего пласта, что может привести к ошибочным выводам.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кемеровской области – Кузбасса № 22-27-20004, <https://rscf.ru/project/22-27-20004/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портола В. А., Овчинников А. Е., Жданов А. Н. Оценка мер по предупреждению эндогенных пожаров в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 12. С. 205–214. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-205-214.
2. Kozyreva E. N., Nepeina E. S., Shinkevich M. V. Influence of Temperature on the Methane Content of Kuznetsk Basin Coking Coal // Coke and Chemistry. 2018. Vol. 61. No. 3. Pp. 112–115.
3. Скочинский А. А., Огиевский В. М. Рудничные пожары. М. : Издательство «Горное дело»? ООО «Киммерийский центр», 2011. 375 с.
4. Веселовский В. С., Алексеева Н. Д., Виноградова Л. Н., Орлеанская Г. Л., Терпигосова Е. А. Самовозгорания промышленных материалов. М. : Наука, 1964. 246 с.
5. Lin Q., Wang S., Song S., Liang Y., Ren T. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition. Fuel Processing Technology. 2017. 159. P. 38–47.
6. Onifade M., Genc B. Spontaneous combustion of coals and coal-shales. International Journal of Mining Science and Technology. 2018. V.28. Pp. 993–940.
7. Zhang Y., Liu Y., Shi X., Yang C., Wang W., Li Y. Risk evaluation of coal spontaneous combustion on the basis of auto-ignition temperature. Fuel. 2018. V. 233. Pp. 68–76.
8. Родионов В. А., Турсенев С. А., Скрипник И. Л., Ксенофонтов Ю. Г. Результаты исследования кинетических параметров самовозгорания каменноугольной пыли. Записки Горного института. 2020. Т. 246. С. 617–622.
9. Акулов Н. И., Прокопьев С. А., Прокопьев Е. С., Алексеева О. Л. Самовозгорание техногенно-переотложенных угленосных отложений Кузбасса // Уголь. 2022. № S12. С. 53-59.
10. Timofeeva S. S., Yankova P., Timofeev S. S., Lugovtsova N. Y. Assessing the unaccounted environmental pressure caused by endogenous fires on the rock dumps of Kuzbass. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions. 2019. P. 012057.
11. Портола В. А., Черских О. И., Протасов С. И., Серегин Е. А., Шваков И. А. Исследование воздействия антипирогенов на процесс самовозгорания бурого угля // Уголь. 2022. № 12. С. 54–60.
12. Игишев В. Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. М. : Недра, 1987. 176 с.

13. Коврижин О. И., Коляда А. Ю., Калининченко Н. А. Использование газообразного азота при ликвидации подземных пожаров. Научный вестник НИИГД Респиратор. 2020. № 5 (57). С. 37–44.
14. Головченко Е. А., Момот Д. И., Карасева В. В. Апробация метода идентификации видов сгорающих веществ при подземных пожарах // Научный вестник НИИГД Респиратор. 2023. № 1 (60). С. 98–105.
15. Портола В. А., Тайлаков О. В., Ли Хи Ун, Соболев В. В., Бобровникова А. А. Обнаружение, локация и оценка состояния очагов подземных пожаров по аномалиям радона на земной поверхности. Уголь. 2021. № 5. С. 47–52. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-47-52.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Портола Вячеслав Алексеевич, доктор техн. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28). e-mail: portola2@yandex.ru

Бобровникова Алена Александровна, канд. хим. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

Ковалев Сергей Владимирович, инженер, ООО Научно-исследовательский институт горноспасательного дела (650044, Россия, г. Кемерово, ул. Рутгерса, 34)

Киренберг Евгений Александрович, студент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

Заявленный вклад авторов:

Портола Вячеслав Алексеевич – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования.

Бобровникова Алена Александровна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Ковалев Сергей Владимирович – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Киренберг Евгений Александрович – обзор соответствующей литературы, участие в замерах температуры и газов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

APPLICATION OF TEMPERATURE AND GAS SURVEYS FOR DETECTION AND LOCATION OF POINTS OF ENDOGENOUS FIRES AT SEAM OUTCROPS OF THE ABANDONED MINE

Vyacheslav A. Portola¹, Alena A. Bobrovnikova¹,
Sergey V. Kovalev², Evgeny A. Kirenberg¹

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

²LLC Research Institute of Mining Rescue Affairs

*for correspondence: portola2@yandex.ru



Article info

Received:

06 April 2023

Accepted for publication:

15 June 2023

Abstract.

The article presents the results of a study of spontaneous combustion seats that arose at the outcrops of coal seams of an abandoned mine. The development of endogenous fires was facilitated by the caves on the surface formed during the excavation of coal, as well as the coal-bearing rock used to fill the caves. To detect and locate seats of endogenous fires, temperature survey of rocks to a depth of 1.0–1.5 m was used, as well as measurement of radon fluxes from the surface with sensors filled with activated carbon, and the concentration of carbon monoxide in rocks. Conducted temperature and gas surveys made it possible to identify spontaneous combustion seats with a temperature of more

Accepted:
20 June 2023

Published:
30 June 2023

Keywords: spontaneous combustion of coal, endogenous fire, outcrops of coal seams, temperature survey, gas survey, carbon monoxide, radon

than 500 °C. The concentration of carbon monoxide in the anomaly reached 1.0%, which is a danger to human life. The radon fluxes from the earth's surface above the spontaneous combustion seats reached 1418 mBq/(m²·s), which significantly exceeds the background values equal to 20-50 mBq/(m²·s). On the heated earth's surface, radon fluxes decrease, which can be explained by a decrease in gas sorption by activated carbon. Gas anomalies were also found above non-burning seams, which can be explained by the displacement of gases upon reaching the surface. It has been established that the combination of temperature and gas surveys makes it possible to increase the efficiency of locating the seats of underground fires.

For citation: Portola V.A., Bobrovnikova A.A., Kovalev S.V., Kirenberg E.A. Application of temperature and gas surveys for detection and location of points of endogenous fires at seam outcrops of the abandoned mine. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 3(157):79-90. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-3-79-90, EDN: UILKGM

REFERENCES

1. Portola V.A., Ovchinnikov A.E., Zhdanov A.N. Evaluation of measures to prevent endogenous fires in coal mines. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019; 12:205–214. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-205-214.
2. Kozyreva E.N., Nepeina E.S., Shinkevich M.V. Influence of Temperature on the Methane Content of Kuznetsk Basin Coking Coal. *Coke and Chemistry*. 2018; 61(3):112–115.
3. Skochinsky A.A., Ogievsky V.M. Mine fires. M.: Publishing house "Mining business" LLC "Cimmerian center"; 2011. 375 p.
4. Veselovsky V.S., Alekseeva N.D., Vinogradova L.N., Orleanskaya G.L., Terpogosov E.A. Spontaneous combustion of industrial materials. M.: Nauka; 1964. 246 p.
5. Lin Q., Wang S., Song S., Liang Y., Ren T. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition. fuel processing technology. 2017; 159:38–47.
6. Onifade M., Genc B. Spontaneous combustion of coals and coal-shales. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018; 28:993–940.
7. Zhang Y., Liu Y., Shi X., Yang C., Wang W., Li Y. Risk evaluation of coal spontaneous combustion on the basis of auto-ignition temperature. *Fuel*. 2018; 233:68–76.
8. Rodionov V.A., Tursenev S.A., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G. Results of the study of the kinetic parameters of spontaneous combustion of coal dust. *Notes of the Mining Institute*. 2020; 246:617–622.
9. Akulov N.I., Prokopiev S.A., Prokopiev E.S., Alekseev O.L. Spontaneous combustion of technogenically redeposited coal-bearing deposits of Kuzbass. *Coal*. 2022; S12:53–59.
10. Timofeeva S.S., Yankova P., Timofeev S.S., Lugovtsova N.Y. Assessing the unaccounted environmental pressure caused by endogenous fires on the rock dumps of Kuzbass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Current Problems and Solutions*. 2019. R. 012057.
11. Portola V.A., Cherskikh O.I., Protasov S.I., Seregin E.A., Shvakov I.A. Study of the impact of antipyrogens on the process of spontaneous combustion of brown coal. *Coal*. 2022; 12:54–60.
12. Igishev V.G. Fight against spontaneous combustion of coal in mines. M.: Nedra; 1987. 176 p.
13. Kovrizhin O.I., Kolyada A.Yu., Kalinichenko N.A. The use of gaseous nitrogen in the elimination of underground fires. *Scientific Bulletin of NIIGD Respirator*. 2020; 5(57):37–44.
14. Golovchenko E.A., Momot D.I., Karaseva V.V. Approbation of the method for identifying the types of burning substances in underground fires. *Scientific Bulletin of NIIGD Respirator*. 2023; 1(60):98–105.
15. Portola V.A., Taylakov O.V., Lee Hee Un, Sobolev V.V., Bobrovnikova A.A. Detection, location and assessment of the state of underground fires based on radon anomalies on the earth's surface. *Coal*. 2021; 5:47–52. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-47-52.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Vyacheslav A. Portola, Dr. Sc. in Engineering, Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28). e-mail: portola2@yandex.ru

Alena A. Bobrovnikova, C. Sc. in Chemistry, Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28).

Sergey V. Kovalev, engineer, Research Institute of Mine Rescue Affairs (650044, Russia, Kemerovo, Rutgers str., 34),

Evgeny A. Kirenberg, student, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya st., 28).

Contribution of the authors:

Vyacheslav A. Portola – scientific management, review of relevant literature, conceptualization of the study.

Alena A. Bobrovnikova – setting a research problem, scientific management, data collection and analysis, conclusions, writing a text.

Sergey V. Kovalev – statement of the research problem, review of relevant literature, data collection and analysis, conclusions, writing the text.

Evgeny A. Kirenberg – review of relevant literature, participation in temperature and gas measurements.

All authors have read and approved the final manuscript.

