

Обнаружение, локация и оценка состояния очагов подземных пожаров по аномалиям радона на земной поверхности

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-5-47-52>

Добыча угля сопровождается опасностью возникновения эндогенных пожаров, угрожающих здоровью и жизни шахтеров из-за выделения токсичных газов, угрозы взрыва горючих газов и угольной пыли. Снизить опасность очагов самовозгорания позволят своевременное обнаружение процессов самовозгорания и информация о местонахождении и состоянии очага. Контроль содержания пожарных газов в рудничной атмосфере не всегда позволяет обнаружить процесс самовозгорания и практически не дает информации о местонахождении очага. Проведенные исследования показали, что поверхностная съемка пожарных газов и радона позволяет повысить эффективность контроля очагов самовозгорания, возникающих в выработанном пространстве. В ходе лабораторных исследований установлено, что объемная активность радона в атмосфере угольных шахт Кузбасса зависит от концентрации радия-226 в горных породах и количества проходящего воздуха и может изменяться от 15 до 6000 Бк/м³. Нагревание угля и вмещающих пород увеличивает вынос радона из скоплений в 2–3 раза в диапазоне температуры 40–110°C за счет выпаривания влаги. Дальнейшее увеличение температуры снижает вынос радона. Шахтные наблюдения подтвердили образование аномалий радона в приповерхностном слое над очагами подземных пожаров. Однако радоновые аномалии обнаружены и над зонами с высокой проницаемостью обрушенных горных пород. Для обнаружения и локации очагов самовозгорания необходима поверхностная съемка одновременно радона и пожарных газов. Полученные данные позволят получить информацию о перемещении очага и его ликвидации.

Ключевые слова: радон, радий, самовозгорание угля, эндогенный пожар, шахта, обнаружение пожара, локация очагов самовозгорания, тепловая депрессия, газовые аномалии.

Для цитирования: Обнаружение, локация и оценка состояния очагов подземных пожаров по аномалиям радона на земной поверхности / В.А. Портола, О.В. Тайлаков, Ли Хи Ун и др. // Уголь. 2021. № 5. С. 47–52. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-47-52.

ВВЕДЕНИЕ

Причиной подземных пожаров чаще всего являются процессы самовозгорания, возникающие в горючих веществах, способных окисляться при естественной темпе-

ПОРТОЛА В.А.

Доктор техн. наук, профессор,
профессор кафедры аэрологии, охраны труда и природы
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: portola2@yandex.ru

ТАЙЛАКОВ О.В.

Доктор техн. наук, профессор,
генеральный директор АО «НЦ ВостНИИ»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

ЛИ Хи Ун

Доктор техн. наук, профессор,
ученый секретарь АО «НЦ ВостНИИ»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: leeanatoly@mail.ru

СОБОЛЕВ В.В.

Доктор техн. наук,
заместитель генерального директора
АО «НЦ ВостНИИ»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: Sobolev567@gmail.com

БОБРОВНИКОВА А.А.

Канд. хим. наук,
доцент кафедры химии, технологии
неорганических веществ и наноматериалов
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: bobrownickowa.al@yandex.ru

ратуре окружающей среды [1]. Учитывая, что для выделения тепла и поддержания окислительных процессов необходим постоянный приток кислорода, горючее вещество должно быть раздроблено. После дробления резко воз-

растает площадь поверхности горючего вещества, контактирующего с воздухом, что увеличивает количество реакций взаимодействия кислорода с горючими компонентами и интенсивность выделения тепла. Одновременно повышается проницаемость скопления раздробленного горючего вещества через образующиеся пустоты, что облегчает фильтрацию воздуха вглубь скопления. Опасность самовозгорания повышается с уменьшением размера частиц горючего вещества [2].

Значительное количество подземных пожаров приходится на угольные шахты, где в выработанном пространстве образуются скопления теряемого угля, а вентиляторы проветривания создают условия для поступления воздуха к этим угольным скоплениям. Возникающий очаг самовозгорания способен инициировать взрывы метана, выделяющегося из угля [3, 4]. Существенную опасность для шахтеров представляют токсичные газы, образующиеся в процессе окисления и термического разложения угля. Значительные экономические потери шахт обусловлены потерей оборудования, затратами на тушение пожаров, восстановление добычных работ. Учитывая опасность подземных эндогенных пожаров, проводятся широкие исследования процесса самовозгорания угля [5, 6, 7, 8, 9].

Значительно повысить безопасность горных работ и снизить потери, обусловленные эндогенными пожарами, позволяют своевременное обнаружение процесса самовозгорания угля и определение местонахождения очага в выработанном пространстве. Индикаторами процесса самовозгорания обычно являются газы, образующиеся из угля при повышении температуры. В шахтах для выявления процесса самовозгорания используют контроль содержания в рудничной атмосфере таких индикаторных газов, как оксид углерода, водород, предельные и непредельные углеводороды.

Однако шахтный контроль содержания этих газов в рудничной атмосфере не всегда позволяет обнаружить очаг самовозгорания в выработанном пространстве и практически не дает информации о местонахождении обнаруженного процесса самовозгорания. Так, в случае нагнетательного проветривания шахты избыточное давление воздуха в горных выработках может формировать утечки воздуха из выработанного пространства в атмосферу через нарушенные горными работами породы. Возникающий процесс самовозгорания усиливает вынос продуктов горения на земную поверхность за счет тепловой депрессии, развиваемой очагом. Конвективные потоки воздуха начинают выносить продукты горения в атмосферу, минуя точки газового контроля.

Учитывая, что потоки воздуха, возникающие за счет тепловой депрессии, движутся по вертикальной линии к земной поверхности, более информативным является замер концентрации индикаторных пожарных газов в поверхностном слое почвы. Появившаяся аномалия пожарных газов в приповерхностном слое не только свидетельствует о процессе самовозгорания в шахте, но и позволяет определить местонахождение очага, так как эта газовая аномалия является его вертикальной проекцией. Практика применения приповерхностной газовой съемки показала, что при нагнетательном способе проветривания шахты над подземными очагами пожаров образу-

ется аномалия газов, позволяющая определить местонахождение очага. Обычно при локации очагов подземных пожаров идет поиск аномалий оксида углерода, так как он в наибольших количествах выделяется при окислении и нагреве угля. Кроме того, для его обнаружения имеется достаточное количество газоанализаторов.

Последующие исследования показали, что для обнаружения процесса самовозгорания угля в шахтах и локации очагов в выработанном пространстве можно использовать и газ радон. Преимуществом этого газа является его радиоактивность, что существенно упрощает его поиск и измерение даже незначительных его концентраций в воздухе. Контролируя потоки радона с земной поверхности, просто обнаружить его аномалии в почве. В последние годы для обнаружения подземных пожаров, возникающих в шахтах, зачастую используют только радоновые съемки. Причем такие съемки проводят и при всасывающем способе проветривания, способном предотвратить вынос газов из шахты в атмосферу. Проведенные исследования показывают, что радоновые съемки без знания особенностей формирования газовых аномалий могут привести к неверным выводам о наличии или отсутствии очагов пожаров в шахте.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДОНА ИЗ УГЛЯ И ПОРОД

Радон-222 является радиоактивным химически инертным газом без цвета и запаха с плотностью 9,9 кг/м³. Радон представляет собой промежуточный продукт распада урана-238. Непосредственным источником образования радона становится радий-226, период полураспада которого 1600 лет. Содержание радона в рудничной атмосфере будет определяться концентрацией урана-238 и радия-226 в окружающих горных породах, их структурой, пористостью, влажностью, газопроницаемостью. В горных породах концентрация радионуклидов может отличаться в сотни раз и зависит от их начального содержания, а также процессов заноса и выноса грунтовыми водами

Радон является короткоживущим элементом с периодом полураспада 3,8 суток. Распад радона сопровождается выделением α -частицы с энергией 5,48 МэВ и γ -излучения с энергией 0,51 МэВ [10, 11]. Среднегодовое содержание радона в атмосферном воздухе колеблется от 0,1 до 10 Бк/м³. Внешнее воздействие радона практически не опасно для человека, так как проникающая способность α -частиц и дочерних продуктов его распада имеет незначительную проникающую способность, и они задерживаются одеждой и кожей. Наибольшую опасность представляет радон, попадающий в организм через органы дыхания. Сведения о содержании радона в рудничной атмосфере и опасности, которую он представляет для шахтеров, приведены в [12, 13].

Для исследования содержания радия в угле и вмещающих породах шахт Кузбасса использовался гамма-спектрометрический анализ. Результаты лабораторных исследований показали, что содержание радия-226 в отобранных пробах угля колеблется от 7 до 25 Бк/кг при среднем значении 9,3 Бк/кг. Вмещающие породы более насыщены радием, чем уголь. Так, его содержание в алевролитах, аргиллитах, песчанике изменялось от 21 до 50 Бк/кг. Следует ожидать, что концентрация радона в рудничной

атмосфере будет пропорциональна содержанию радия в угле и породах с учетом проходящего количества воздуха.

Контроль содержания радона в рудничной атмосфере может осуществляться ионизационным, сцинтилляционным, адсорбционным и другими способами [14, 15, 16, 17, 18]. Для измерения концентрации радона в атмосфере угольных шахт Кузбасса использовался наиболее простой и безопасный адсорбционный метод, позволяющий определять объемную активность радона в пределах от 10 до 10⁵ Бк/м³. Замеры проводились в воздухе действующих горных выработок, а также в атмосфере выработанного пространства. Контроль состава газов изолированных выработанных пространств осуществлялся через перемычки и скважины, пробуренные с поверхности. Объемную активность радона в воздухе определяли по формуле:

$$C = \frac{A \exp(\lambda t)}{V \eta}, \quad (1)$$

где A – активность сорбента, Бк; γ – постоянная распада радона (0,00755 ч⁻¹); η – относительная эффективность адсорбции радона (0,8 относительных единиц); V – объем отобранной пробы воздуха (8,5·10⁻³ м³); t – интервал времени между окончанием отбора проб газа и началом измерений, ч.

Анализ результатов замеров показал, что в действующих горных выработках объемная активность радона обычно не превышает предельно допустимой нормы и находится в пределах от 15 до 200 Бк/м³. Однако в местах контакта горных выработок с выработанным пространством действующих лав в воздухе возможно существенное превышение допустимых концентраций радона. Например, при прямом проветривании, приводящем к выносу газа из выработанного пространства на конвейерный штрек, концентрация радона превышала предельно допустимые нормы более чем в три раза. Таким образом, можно сделать вывод, что подача расчетного количества воздуха в шахты Кузбасса позволяет поддерживать содержание радона в рудничной атмосфере на безопасном уровне.

Контроль содержания радона в изолированном выработанном пространстве показал, что без проветривания концентрация радона в воздухе может возрасти в десятки раз. Так, в пробах воздуха, отобранных из-за перемычек, изолирующих выработанное пространство недавно отработанных лав, содержание радона обычно существенно превышало допустимые нормы и доходило до 1500 Бк/м³. Значительно большие концентрации радона обнаружены в пробах воздуха, набранных в скважинах, пробуренных в выработанное пространство давно изолированных лав. Содержание радона в исходящем из скважин воздухе доходило до 4000-6000 Бк/м³. Причем замеры проводились в выработанном пространстве без признаков очагов самовозгорания.

По результатам проведенных замеров можно сделать вывод, что содержание радона в рудничной атмосфере может изменяться в широких пределах в зависимости от притока воздуха. В выработанном пространстве, где после обрушения кровли резко возросла поверхность кусков пород, контактирующих с воздухом, существенно увеличился и вынос радона в окружающий воздух. Однако в недавно изолированное выработанное пространство продолжает поступать некоторое количество воздуха из рядом

расположенных проветриваемых действующих горных выработок, что способствует разбавлению радона. Длительное время изолированное выработанное пространство обычно удалено от действующих горных выработок, что затрудняет поступление в них воздуха и способствует повышению концентрации радона.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод, что на земной поверхности могут возникать аномалии радона из-за поступления газа из изолированного выработанного пространства. С целью оценки эффективности применения радоновых съемок для обнаружения и локализации очагов подземных пожаров были проведены исследования выделения радона из угля и пород при их нагревании. Установка для оценки выделения радона состояла из нагреваемой рабочей камеры, в которую помещалась проба угля или породы. Прокачиваемую через насыпку пробу воздуха направляли через сорбционную колонку, наполненную активированным углем. Температуру нагреваемой пробы фиксировали при установке и снятии каждой колонки. В эксперименте использовали 30 проб угля и 20 проб вмещающих пород, отобранных в шахтах Кузбасса. Изменение объемной активности радона в воздухе, прошедшем через насыпку угля, в зависимости от температуры угля приведено на рис. 1.

Из результатов эксперимента следует, что повышение температуры насыпки угля приводит к увеличению выноса радона в фильтрующийся воздух. Рост объемной активности радона в воздухе продолжается до температуры 100-110°С. Дальнейшее повышение температуры угля сопровождается быстрым снижением объемной активности радона в воздухе. Нагрев угля прекратили при температуре около 150°С, так как возникла опасность его воспламенения.

Аналогичные результаты показал и прогрев вмещающих пород (рис. 2). Температуру образцов удалось довести до 220-240°С. Учитывая, что начальное содержания радия в породах больше, чем в угле, объемная активность радона в фильтрующемся воздухе оказалась выше, чем в предыдущем опыте.

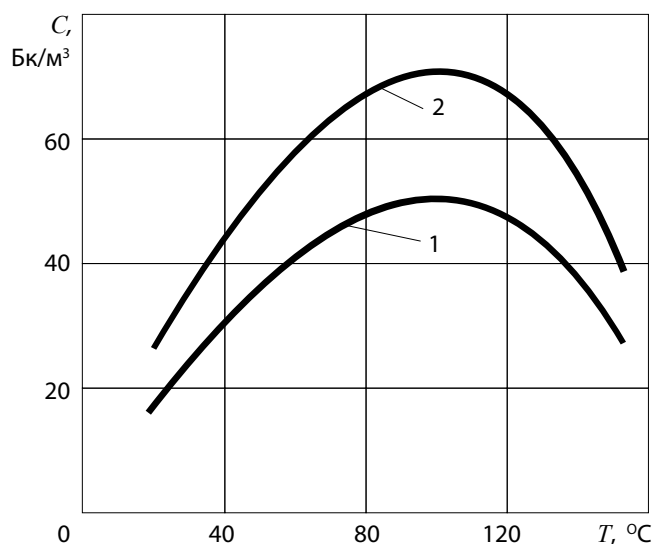


Рис. 1. Изменение объемной активности радона в воздухе, прошедшем через нагреваемую угольную насыпку: 1 – уголь с минимальной начальной активностью радона; 2 – уголь с максимальной начальной объемной активностью радона

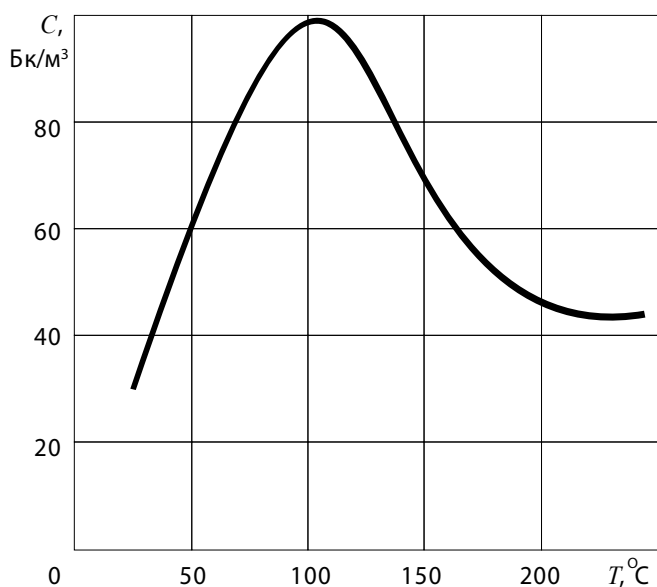


Рис. 2. Изменение объемной активности радона в воздухе, прошедшем через нагреваемую породную насыпку

Анализируя полученные результаты исследования необходимо отметить, что скорость распада радия и количество образуемого радона не зависят от температуры. Нагревание может только стимулировать вынос радона из кусков угля и вмещающей породы в окружающий воздух. Так, образующийся радон частично выносится в воздух, но основная его часть сорбируется в порах, растворяется в воде, остается во внутреннем объеме кусков угля и породы. Повышение температуры приводит к испарению влаги и выносу пара из внутренних пор и трещин горных пород. Исходящий пар выносит ранее растворенный в жидкости радон в воздух, захватывая и молекулы радона, находящиеся на поверхности пустот и трещин.

Однако такой всплеск выноса радона происходит только при нагревании в диапазоне температур 40–110°C. Затем количество образующегося пара сокращается, и вынос радона из объема угля и породы в воздух также снижается. Однако при температуре 150°C, когда влага удалена из скопления угля, вынос радона будет больше, чем при исходной температуре. Этот эффект можно объяснить повышенной воздухопроницаемостью кусков угля после удаления влаги. Кроме того, исходящий пар мог проделать дополнительные пути для выноса радона из угля в воздух.

Необходимо отметить, что при температуре пород более 200°C вновь произошло небольшое увеличение объемной активности радона в воздухе. Видимо, началось разложение горючих компонентов породы с выносом образующихся газов и формированием дополнительных путей для фильтрации воздуха.

ОБРАЗОВАНИЕ РАДОНОВЫХ АНОМАЛИЙ НАД ОТРАБОТАННЫМИ ПЛАСТАМИ УГЛЯ

Проведенные исследования показали, что увеличение выноса радона из угля происходит при самовозгорании только на стадии выпаривания влаги. Объемная активность радона в фильтрующемся воздухе может возрасти в 2-3 раза. При дальнейшем повышении температуры угля

или ее стабилизации, но прекращении процесса выпаривания из-за отсутствия влаги содержание радона в воздухе возвращается к значениям, незначительно превышающим исходные показания. Между тем практика показывает, что радоновые аномалии над подземными очагами самовозгорания сохраняются до полной ликвидации пожара. Поэтому основной причиной формирования радоновых аномалий в приповерхностном слое является конвективный поток газов, возникающий за счет тепловой депрессии, развиваемой очагом самовозгорания. Этот поток газов и выносит насыщенную радоном атмосферу скопления горных пород, образующихся после выемки угольных пластов.

Выявление радоновых аномалий на горных предприятиях проводилось с использованием диффузионных сборников с активированным углем, адсорбирующим радон. Величину средних за время экспонирования потоков радона с исследуемой поверхности определяли по формуле:

$$q = \frac{Ae^{\lambda t}}{k(1 - e^{-\lambda T})}, \tag{2}$$

где T – продолжительность экспонирования диффузионного сборника на поверхности, ч; k – коэффициент, зависящий от продолжительности экспонирования.

Замеры потоков радона осуществлялись на частично горящем породном отвале. Одновременно определялись температура пород на глубине 30 см, а также выделение оксида углерода. Исследование показало, что на почве у подошвы отвала поток радона составил 24 мБк/(м²·с). На отвале с температурой пород около 40°C поток увеличился до 700-1100 мБк/(м²·с), а на участке, прогретом до 120-180°C, поток снизился до 200-400 мБк/(м²·с).

Шахтные исследования проводились над отработанными пластами, в том числе над участками с известным местонахождением очагов подземных пожаров. Эксперименты показали, что естественный фоновый уровень потоков радона над шахтными полями в Кузбассе составляет 10–70 мБк/(м²·с). Над очагами подземных пожаров зафиксированы аномалии с потоками радона от 100 до 1500 мБк/(м²·с). Причем в этих радоновых аномалиях обязательно присутствовали такие пожарные индикаторные газы, как оксид углерода, водород.

В ходе газовых съемок на шахтах неоднократно встречались в приповерхностном слое радоновые аномалии, в которых отсутствовали пожарные газы, а в шахтах не обнаруживались признаки очагов самовозгорания. Повышенные концентрации радона иногда встречаются в жилых домах, размещенных над отработанными угольными пластами. Так, в частных жилых домах, расположенных над отработанным еще в 1941 г. угольным пластом, расположенном на глубине 60 м, величина объемной активности радона составляла 900-1150 Бк/м³, что значительно превышало санитарные нормы. Замерами не обнаружено содержания пожарных газов в атмосфере помещений. Таким образом, шахтные исследования подтвердили, что выносу радона из зон обрушения на земную поверхность способствуют конвективные потоки, возникающие под действием тепловой депрессии, развиваемой очагом пожара. При этом должны формироваться и аномалии пожарных газов.

Выносу газов из шахты на земную поверхность способствуют возникающие над отработанным пластом зоны обрушения и трещин. При выемке угольного пласта мощностью m зона обрушения составляет $(3-6)m$, а размер зоны трещин колеблется в интервале $(30-50)m$ [19]. Учитывая, что высокие концентрации радона выносятся в основном в зонах обрушений и трещин, появление аномалий радона в приповерхностном слое не обязательно будет от подземного пожара. При нагнетательном способе проветривания шахты аномалии радона могут возникнуть над зонами с повышенной воздухопроницаемостью, трещинами, доходящими до поверхности земли. Поэтому для обнаружения и локализации очагов подземных пожаров необходимо дополнять радоновую съемку замером индикаторных пожарных газов. Обычно достаточно определять оксид углерода и радон.

Совместное измерение содержания этих двух газов в приповерхностном слое позволит получать дополнительную информацию о состоянии подземного пожара из-за разных физических свойств этих газов. Так, сформированные очагом самовозгорания аномалии пожарных газов будут сохраняться длительное время после ликвидации пожара, что не позволяет оперативно оценить эффективность тушения. Однако радон, как радиоактивный элемент, быстро распадается (период полураспада – 3,8 суток), что будет свидетельствовать о нормализации температуры пород и ликвидации конвективных потоков. Поэтому наблюдения за аномалиями радона и пожарных газов в приповерхностном слое своевременно выявят ликвидацию очага, что снизит затраты на тушение пожаров. Кроме того, в случае перемещения очага самовозгорания может появиться повышенная концентрация радона по периметру аномалии из-за увеличения его выноса в прогреваемой зоне с выпариванием влаги. Фиксация на границе радоновой аномалии повышенного содержания этого газа будет свидетельствовать не только о перемещении очага в выработанном пространстве, но и укажет направление перемещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лабораторные и шахтные исследования показали, что содержание радона в рудничной атмосфере может меняться в широких пределах в зависимости от содержания радия в угле и вмещающих породах и количества проходящего воздуха. Наибольшая объемная активность радона зафиксирована в изолированном выработанном пространстве. Повышение температуры угля и вмещающих пород приводит к увеличению выноса радона из нагреваемых скоплений в 2–3 раза на стадии выпаривания влаги. Дальнейшее повышение температуры угля и породы снижает вынос радона в воздух. Формирование радоновых аномалий в приповерхностном слое над очагом подземного пожара происходит за счет возникновения тепловой депрессии очага, образующей конвективные потоки, выносящие из вышележащих скоплений обрушенной породы насыщенный радоном газ. Одновременно в приповерхностном слое могут возникать аномалии радона, вынос которого из зон обрушения может быть обусловлен повышенной воздухопроницаемостью пород. Поэтому при обнаружении и локализации очагов подземных пожаров с поверхности необходимо замерять содержание не только радона, но и индикаторных пожарных газов.

Приповерхностные газовые аномалии радона и продуктов окисления угля являются вертикальной проекцией подземного очага, поэтому позволяют определить местонахождение пожара в выработанном пространстве. Одновременный замер содержания радона и индикаторных пожарных газов в приповерхностном слое даст дополнительную информацию о состоянии подземного пожара. Так, повышение концентрации радона на периметре газовой аномалии может свидетельствовать о перемещении очага самовозгорания в скоплении угля или углесодержащих пород, а также указать направление перемещения. Быстрое снижение концентрации радона в приповерхностной аномалии, даже при сохранении аномалии пожарных газов, может быть признаком ликвидации подземного очага самовозгорания.

Список литературы

1. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. 375 с.
2. Портола В.А. Опасность самовозгорания угольной пыли // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 6. С. 36–39.
3. Шинкевич М.В. Газовыделение из отработываемого пласта с учетом геомеханических процессов во вмещающем массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. Отдельный выпуск № 6. С. 278–285.
4. Козырева Е.Н., Шинкевич М.В., Назаров Н.Ю. Некоторые особенности управления метанообильностью высокопроизводительного выемочного участка // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 9. С. 322–325.
5. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition / Q. Lin, S. Wang, S. Song et al. // Fuel Processing Technology. 2017. N 159. P. 38–47.
6. Thermal behavior and microcharacterization analysis of second-oxidized coal / J. Deng, J.-Y. Zhao, Y.-N. Zhang et al. // Journal of Thermal Analysis & amp. 2017. N 127(1). P. 439–448.
7. Zhang L., Qin B. Rheological characteristics of foamed gel for mine fire control // Fire and Materials. 2016. N 40(2). P. 246–260.
8. Portola V.A. Assessment of the effect of some factors on spontaneous coal combustion // Journal of Mining Science. 1996. N 32(6). P. 536–541.
9. Wang Q.S., Guo D., Sun, J.H. Spontaneous Combustion Prediction of Coal by C80 and ARC Techniques // Energy and Fuels. 2009. N 23(10). P. 4871–4876.
10. Маргулис У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1988. 224 с.
11. Козлов В.Ф., Трошкин Ю.С. Справочник по радиационной безопасности. М.: Атомиздат, 1967. 276 с.
12. Portola V.A., Torosyan E.S., Antufeyev V.K. Radon Emission from Coal Mines of Kuzbass Region / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 127: Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering. [012021, 5 p.].
13. Skowronek J. The method of control of radon progeny hazard by means of foam insulation of gobblins // Mining Sci. 1999. N 2. P. 255–276.

14. Surbeck H. Radon monitoring in soils and water // *Radiat. Meas.* 1993. N 22. P. 4.

15. Марков К.П., Рябов Н.В., Стась К.Н. Сцинтилляционный метод измерения концентрации радона. М.: Атомиздат, 1970. С. 170.

16. Павлов И.В., Покровский С.С., Камнев Е.Н. Способы обеспечения радиационной безопасности при разведке и добыче урановых руд. М.: Энергоатомиздат, 1994. 256 с.

17. Budnitz R.I. Radon-222 and its daughters – a review of instrumentation for occupational and environmental monitoring // *Health Phys.* 1974. Vol. 26, Is. 2. P. 145–163.

18. Radon registration with an olectret diffusion chamber / G. Pretzsch, E. Borner, R. Lehmann et al. // *Radiat. Prot. Dosim.* 1987. N 2. P. 75–80.

19. Егоров П.В., Ренев А.А., Сурков А.В. Геомеханика в примерах. Кемерово, 1997. С. 170.

SAFETY

Original Paper

UDC 622.822 © V.A. Portola, O.V. Tailakov, Lee Hee Un, V.V. Sobolev, A.A. Bobrovnikova, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 5, pp. 47-52
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-5-47-52>

Title

DETECTION, LOCATION AND ASSESSMENT OF UNDERGROUND FIRES USING RADON ANOMALIES ON THE DAY SURFACE

Authors

Portola V.A.¹, Tailakov O.V.², Lee Hee Un², Sobolev V.V.², Bobrovnikova A.A.¹

¹ Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation

² "Scientific Centre "VostNII" for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry" JSC, Kemerovo, 650002, Russian Federation

Authors' Information

Portola V.A., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Aerology, Labor Protection and Nature department, e-mail: portola2@yandex.ru

Tailakov O.V., Doctor of Engineering Sciences, Professor, General Director, e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

Lee Hee Un, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academic Secretary, e-mail: leeanatoly@mail.ru

Sobolev V.V., Doctor of Engineering Science, Deputy General Director, e-mail: Sobolev567@gmail.com

Bobrovnikova A.A., PhD (Chemical), Associate Professor of Chemistry, Technology of Inorganic Substances and Nanomaterials department, e-mail: bobrownickowa.al@yandex.ru

Abstract

Coal mining is accompanied with a risk of spontaneous fires that threaten the health and lives of miners by releasing toxic gases as well as risks of combustible gases and coal dust explosions. The hazards of breeding fires will be reduced by timely detection of self-ignition processes and availability of information on the location and condition of the fire source. Monitoring of fire gases in the mine atmosphere does not always allow the detection of spontaneous combustion processes and provides almost no information on the location of fire source. The conducted research shows that the surface survey of fire gases and radon makes it possible to enhance the detection efficiency of spontaneous fire sources occurring in the mined-out space. In the course of laboratory studies it was found that volumetric activity of radon in the atmosphere of the Kuzbass coal mines depends on radium-226 concentration in rocks, the flow of passing air, and can vary from 15 to 6000 Bq/m³. Heating of coal and host rocks within the temperature range 40–110°C enhances radon release from its accumulations by 2–3 times due to evaporation of moisture. A further increase in the temperature reduces the radon yield. Observations performed inside mines confirmed the fact that radon anomalies are formed in the near-surface layer above the underground fires. However, radon anomalies have also been detected above the areas of collapsed rocks that are characterized with high permeability. In order to detect and locate the spontaneous fires, it is required to perform a surface survey of both radon and fire gases at the same time. The data obtained will provide information on the relocation of the fire seat and its elimination.

Keywords

Radon, Radium, Spontaneous combustion of coal, Spontaneous fire, Underground mine, Fire detection, Locating of spontaneous combustion places, Thermal drop of ventilation pressure, Gas anomalies.

References

- Skochinsky A.A. & Ogievsky V.M. Mine fires. Moscow, Gornoe Delo Publ., Cimmerican Centre LLC, 2011, 375 p. (In Russ.).
- Portola V.A. Hazards of spontaneous combustion of coal dust. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, 2015, (6), pp. 36–39. (In Russ.).

3. Shinkevich M.V. Gas release from mined-out seam with account for geomechanical processes in the host rock mass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2013, Special Issue No. 6, pp. 278–285. (In Russ.).

4. Kozyreva E.N., Shinkevich M.V., Nazarov N.Yu. Some specific features in management of methane content in a highly productive mine site. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2011, (9), pp. 322–325. (In Russ.).

5. Lin Q., Wang S., Song S. et al. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of self-ignition. *Fuel Processing Technology*, 2017, (159), pp. 38–47.

6. Deng J., Zhao J.-Y., Zhang Y.-N. et al. Thermal behavior and microcharacterization analysis of second-oxidized coal. *Journal of Thermal Analysis & amp.*, 2017, No. 127(1), pp. 439–448.

7. Zhang L. & Qin B. Rheological characteristics of foamed gel for mine fire control. *Fire and Materials*, 2016, No. 40(2), pp. 246–260.

8. Portola V.A. Assessment of the effect of some factors on spontaneous coal combustion. *Journal of Mining Science*, 1996, No. 32(6), pp. 536–541.

9. Wang Q.S., Guo D. & Sun, J.H. Spontaneous Combustion Prediction of Coal by C80 and ARC Techniques. *Energy and Fuels*, 2009, No. 23(10), pp. 4871–4876.

10. Margulis U.Ya. Nuclear energy and radiation safety. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 224 p. (In Russ.).

11. Kozlov V.F. & Troshkin Yu.S. Handbook on radiation safety. Moscow, Atomizdat Publ., 1967, 276 p. (In Russ.).

12. Portola V.A., Torosyan E.S. & Antufeyev V.K. Radon Emission from Coal Mines of Kuzbass Region / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, Vol. 127: Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering. [012021, 5 p.].

13. Skowronek J. The method of control of radon progeny hazard by means of foam insulation of gobbins. *Mining Sci.*, 1999, (2), pp. 255–276.

14. Surbeck H. Radon monitoring in soils and water. *Radiat. Meas.*, 1993, (22), pp. 4.

15. Markov K.P., Ryabov N.V. & Stas K.N. Scintillation method of radon concentration measurement. Moscow, Atomizdat Publ., 1970, p. 170. (In Russ.).

16. Pavlov I.V., Pokrovsky S.S. & Kamnev E.N. Ways to ensure radiation safety in exploration and mining of uranium ores. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1994, 256 p. (In Russ.).

17. Budnitz R.I. Radon-222 and its daughters – a review of instrumentation for occupational and environmental monitoring. *Health Phys.*, 1974, Vol. 26(2), pp. 145–163.

18. Pretzsch G., Borner E., Lehmann R. et al. Radon registration with an olectret diffusion chamber. *Radiat. Prot. Dosim.*, 1987, (2), pp. 75–80.

19. Egorov P.V., Renev A.A. & Surkov A.V. Geomechanics in examples. Kemerovo, 1997, p. 170. (In Russ.).

For citation

Portola V.A., Tailakov O.V., Lee Hee Un, Sobolev V.V., Bobrovnikova A.A. Detection, location and assessment of underground fires using radon anomalies on the day surface. *Ugol'*, 2021, (5), pp. 47–52. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-5-47-52.

Paper info

Received January 29, 2021

Reviewed February 18, 2021

Accepted April 15, 2021