

УДК 622.822

Портола Вячеслав Алексеевич, профессор
(КузГТУ, г. Кемерово)

Ковалев Сергей Владимирович, ст. инженер
(АО НИИГД, г. Кемерово)

Киренберг Евгений Александрович, студент
(КузГТУ, г. Кемерово)

Portola Vyacheslav Alekseevich, Professor
(KuzSTU, Kemerovo)

Kovalev Sergey Vladimirovich, senior engineer
(JSC NIIGD, Kemerovo)

Kirenberg Evgeny Aleksandrovich, student
(KuzSTU, Kemerovo)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ РАДОНА
НА РАЗРЕЗЕ И ПОРОДНОМ ОТВАЛЕ****STUDY OF RADON RELEASE AT THE CUT AND ROCK DUMP**

Аннотация. В статье приведены результаты исследования выделения радона над подготовленным к выемке угольным пластом и на породном отвале с очагами самовозгорания. Замеры проводились путем установки на поверхности накопительных камер с активированным углем. Объемная активность радона замерялась путем прокачки воздуха через активированный уголь. Установлено, что поток радона над пластом угля не превышает 48 мБк/(м²·с). На породном отвале с очагом самовозгорания поток радона достигал 380 мБк/(м²·с) при температуре пород около 70 °С.

Abstract. The article presents the results of a study of radon emission above a coal seam prepared for extraction and on a waste dump with spontaneous combustion sites. Measurements were made by installing accumulation chambers with activated carbon on the surface. The volumetric activity of radon was measured by pumping air through activated carbon. It was found that the radon flow above the coal seam does not exceed 48 mBq/(m²·s). On a waste dump with a spontaneous combustion site, the radon flow reached 380 mBq/(m²·s) at a rock temperature of about 70 °C.

Добыча угля сопровождается выделением в атмосферу различных газов. Основная часть этих газов являются горючими и образуются в процессе метаморфизма угля. Некоторые газы выделяются при окислении горючих компонентов угля. Поэтому для обнаружения очагов эндогенных пожаров, возникающих при окислении угля в шахтах [1,2], применяют газоаналитический метод [3,4]. В качестве индикаторных газов используют оксид углерода, водород, углеводороды. Для обнаружения подземных

пожаров проводят поиск аномалий радона [5,6]. На породных отвалах применяют температурную съемку [7], в том числе тепловизорами [8].

Присутствующий в рудничной атмосфере инертный газ радон имеет плотность $9,9 \text{ кг/м}^3$. В отличие от остальных рудничных газов радон-222 относится к радиоактивному ряду и является промежуточным продуктом распада урана-238. Период полураспада U^{238} равен $4,51 \cdot 10^9$ лет. В результате распада из урана последовательно образуются долгоживущие радионуклиды - уран-234, торий-230 и радий-226. После распада радия-226 образуется газ радон-222, имеющий период полураспада 3,82 суток.

В горных породах содержание естественных радионуклидов может изменяться в широких пределах. Так, в угле удельная активность урана-238 колеблется от 3 до 520 Бк/кг, а в почве его содержание составляет 10 -50 Бк/кг [9,10]. В золе угля содержание естественных радионуклидов (ЕРН) возрастает на порядок из-за сгорания органического компонента [11].

Часть молекул образовавшегося из радия-226 радона выносятся из угля и пород в рудничную атмосферу. На поверхности угля и пород сорбируется некоторое количество радона, а остальная часть разносится потоками воздуха по горным выработкам или выносятся на земную поверхность. Среднегодовая концентрация радона в воздухе вне помещений составляет от 0,1 до 10 Бк/м³. Принято, что естественный радиационный среднегодовой фон радона в воздухе вне помещения составляет 6 Бк/м³ [10].

Наиболее опасен радон и его продукты распада, находящиеся в аэрозольной фазе, при попадании внутрь организма через органы дыхания. Все дочерние продукты распада радона являются короткоживущими изотопами. Среди них - свинец-214 (период п/распада 26,8 мин) и висмут-214 (период п/распада 19,7 мин). Попадая в организм, радиоактивные аэрозоли вызывают облучение внутренних органов и тканей.

Исследованиями [12,13] установлено, что радон хорошо транспортируется в горных породах. Так, скорость переноса радона в породах пузырьками геогаза (в том числе через грунтовые воды) может значительно превышать скорость диффузии в воздухе [12]. Поэтому по выносу радона из угля и пород можно определить содержания урана и продуктов его распада в угле и вмещающих породах. Конвективные потоки газа, образующиеся при подземных пожарах, образуют аномалии радона на поверхности [5]

Учитывая опасность радона, были проведены исследования выделения радона на разрезе над отрабатываемым пластом угля и на породном отвале с очагом самовозгорания. Пласт XX имеет мощность от 0,80 до 2,86 м при среднем значении 1,44 м. Суммарная мощность угольных пачек изменяется от 0,80 до 2,86 м. Кровля и почва пласта представлены алевролитом крупнозернистым, очень редко песчаником. По результатам гамма-каротажа скважин установлено, что средняя удельная эффективная активность пород участка равна 79,8 Бк/кг. Максимальная активность отмечается в аргиллитах и мелкозернистых алевролитах - 151,2 Бк/кг.

Для поиска аномальных выделений радона на поверхности было проведено измерение плотности потока радона. Замеры проводились путем экспонирования потока радона с поверхности в накопительные камеры НК-32 (см. рис 1), в которые пересыпался активированный уголь марки СКТ-3 из сорбционных колонок СК-13 (см. рис. 2). Время экспонирования составляло не менее 1 часа. Сверху на накопительные камеры «одевалась» защитная колонка, предотвращающая попадание радона из окружающей среды. Для замера объёмной активности радона, воздух с поверхности пласта прокачивался, при помощи пробоотборника воздуха ПВ-2, через сорбционные колонки СК-13, заполненные активированным углем марки СКТ-3, в течение 5 минут. Замер мощности амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения пласта угля и вмещающих пород осуществлялся дозиметром ДКГ-03Д «Грач».

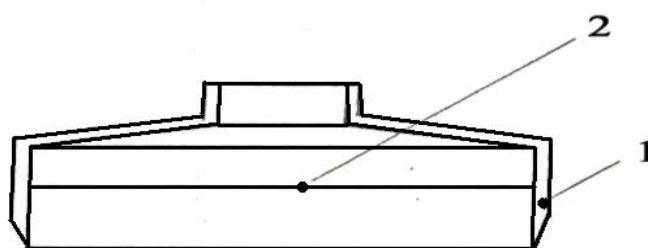


Рис. 1. Схема накопительной камеры: 1 – корпус; 2 – сетка

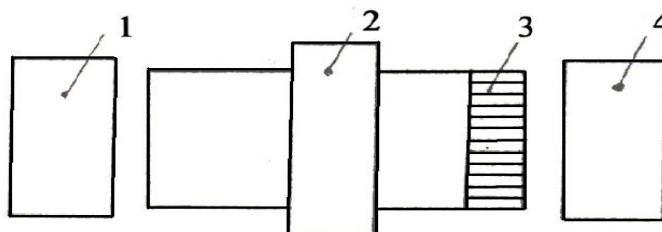


Рис. 2. Схема сорбционной колонки СК-13: 1 – верхняя крышка; 2 – корпус; 3 – крышка с сеткой; 4 – нижняя крышка.

Для оценки содержания в угле пласта XX радионуклидов, образующихся в результате распада урана, на обнаженной поверхности пласта было выбрано десять точек, расположенных через 20 м на одной линии. В каждой контрольной точке измеряли плотность потока радона, выходящего из угля и объемную активность радона в надповерхностном слое воздуха. В контрольных точках также замеряли дозу гамма-излучения. Результаты замеров приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты замера радона и гамма-излучения пласта XX

№ точки	Плотность потока радона, мБк/(м ² ·с)	Объемная активность радона, Бк/м ³	Доза гамма-излучения, мкЗв/ч
1	43	36	0,20
2	43	36	0,20

3	43	36	0,20
4	43	36	0,20
5	46	36	0,20
6	42	36	0,20
7	44	37	0,20
8	46	36	0,20
9	42	38	0,20
10	43	36	0,20

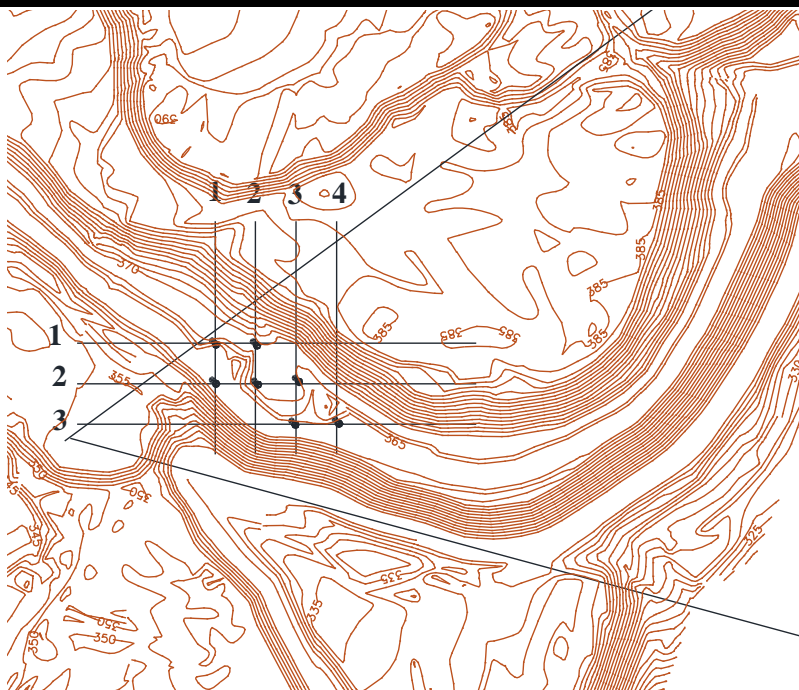
Полученные результаты показывают, что минимальное значение среднегодовой за время экспозиций объемной активности радона составило менее 38 Бк/м³, что существенно меньше допустимых значений (200 Бк/м³). Плотность потока радона (ППР) с поверхности угольного пласта XX (менее 50 мБк/(м²·с)) также не превышает фоновые значения, характерные для угольных предприятий Кузбасса. Уровень гамма-излучения с угольного пласта не превышает 20 мкЗв/ч, что соответствует фоновым значениям и значительно меньше допустимого уровня.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что в угле пласта XX не обнаружено повышенное содержание урана-238 и продуктов его распада. Потоки радона и его объемная активность в воздухе рабочей зоны существенно меньше допустимых значений и не представляют опасности для жизни и здоровья сотрудников разреза. Аномалий радона не выявлено. Температурных аномалий на поверхности также не обнаружено.

На исследуемом породном отвале был выявлен очаг самовозгорания небольшой интенсивности, где и была проведена газовая, радоновая и температурная съемка. Замеры проводились в феврале при температуре атмосферного воздуха минус 8 °С. Для измерения температуры почвы в скважинах использовался измеритель температуры переносной ГТ-8 с диапазон измерения температуры от минус 50 до плюс 800 °С. Концентрацию газов (СО, СО₂, СН₄) определяли газоанализатором «Спутник-1М.1». Замеры проводили в скважинах глубиной около 1,0 м, что обеспечило отбор газа ниже зоны активного воздухообмена с атмосферой.

План участка породного отвала с точками замера приведен на рис. 3. В табл. 2 представлены результаты замера потоков радона, концентрации газов и температуры породы.

Замеры показали, что температура пород на данном участке существенно выше атмосферного воздуха и изменяется от 24 до 71 °С. Концентрация углекислого газа колеблется в пределах от 0 до 0,41 %, поток радона (Rn) от 35 до 381 мБк/(м²·с). Оксид углерода на участке не зафиксирован, метан обнаружен только в одной точке. Можно отметить, что повышенные потоки радона приурочены к точкам с наибольшей температурой углесодержащих пород. Поэтому на породных отвалах для обнаружения подземных очагов самовозгорания можно использовать радоновую съемку. В данном случае, при невысоких температурах пород, радоновая съемка оказалась эффективней чем замеры оксида углерода для обнаружения температурных аномалий.



2. Игишев В.Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. – М.: Недра, 1987. – 176 с.
3. Греков С.П., Головченко Е.А. Динамика адсорбции кислорода углем в зонах геологических нарушений и температура его самонагревания. Научный вестник НИИГД Респиратор. 2023. № 2 (60). С. 33-40.
4. 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.
5. 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.
6. Портола В.А., Бобровникова А.А., Ковалев С.В., Киренберг Е.А. Применение температурной и газовых съемок для обнаружения и локации очагов эндогенных пожаров на выходах пластов ликвидированной шахты // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 3 (157). С. 79-90.
7. Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности. Серия 05. Выпуск 61. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2021. – 60 с.
8. Портола В.А., Черских О.И., Протасов С.И., Серегин Е.А., Шваков И.А. Особенности проведения тепловизионной съемки для обнаружения очагов самовозгорания на угольном разрезе. Горная промышленность. 2023;(1):95–100.
9. Ионизирующее излучение: Источники и биологические эффекты. НКДАР. Доклад за 1982 г. Генеральной Ассамблее (с приложениями).- Т.2. Нью-Йорк, ООН.- 1982.
10. Облучение от естественных источников ионизирующего излучения. НКДАР. Тридцать третья сессия. Вена, 25-29 июня 1984.
11. Маргулис У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность.- 2-е изд.- М.: Энергоатомиздат, 1988.- 224 с.
12. Перенос радона в горном массиве: модели и экспериментальные данные. Статья 1.. Бондаренко В.М., Иванова Т.М. // Изв. вузов. Геол. и разведка.- 1999.- № 4.- С. 118-125.
13. Киселев Н.Н., Чуйченко И.Н., Алехин В.И., Николенко Н.Т. Применение эманационно-трекового метода при картировании тектонических нарушений // Уголь Украины.- 1991.- № 8.- С. 56-59.