

УДК 622.8

**Г.И. Коршунов, Н.А. Мироненкова, Р.В. Потапов, А.И. Пальцев**  
**МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕНИИ-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА РАДИОГЕННЫМИ ГАЗАМИ**

*В последние годы в районах отработки полезных ископаемых участились случаи проявления горных ударов, внезапных выбросов, горно-тектонических землетрясений и других геодинамических явлений. Эти процессы порождаются в массивах горных пород не только действием больших тектонических напряжений, но и увеличением глубины отработки месторождений, структурной неоднородностью массива и свойствами слагающих его горных пород. Все это наносит значительный экономический ущерб, а также ведет к травматизму и человеческим жертвам. Поэтому особую остроту приобрела проблема мониторинга изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород. Для исключения последствий геодинамических явлений необходим надежный прогноз геомеханических условий ведения горных работ. Одним из зарекомендовавших себя методов мониторинга изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, является мониторинг радиогенных газов.*

*Ключевые слова:* радон; плотность потока; объемная активность; напряженно-деформированное состояние; прогноз землетрясений.

**И**зучение природных процессов на угольных шахтах является актуальной задачей и проводится с использованием различных методов. Одним из перспективных направлений является оценка возможности предупреждения опасных геодинамических явлений на основе мониторинговых наблюдений за радиогенными газами.

Радон, является радиогенным газом и как продукт распада урано-радиевого ряда непрерывно генерируется в горных породах в процессе радиоактивного распада. Он всегда присутствует в любом горном массиве, и уменьшение его концентрации, например, за счет диффузии из массива в воздух постоянно компенсируется новой генерацией радона. Диффузия радона в горном массиве и его выделение с поверхности почвы оп-

ределяются эффективным коэффициентом диффузии, который зависит от многих факторов. Эти свойства среды существенно зависят от напряженно-деформированного состояния массива.

$$C_{Rn} = 3,4 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{U \cdot K_{\text{эм}} \cdot \rho}{\eta},$$

где  $U$  – содержание равновесного урана с радием, г/т;  $K_{\text{эм}}$  – коэффициент эманирования горной породы, %;  $\rho$  – плотность, г/см<sup>3</sup>;  $\eta$  – пористость, %.

Расчетные данные концентрации свободного радона, не входящего в кристаллическую решетку минералов и способного перемещаться по трещинам и порам, приведены в табл. 1.

Очевидно, что при сжатии массива проницаемость его снижается, а при разгрузке увеличивается. Соответст-

венно изменяется эффективный ко-  
Таблица 1

**Содержание свободного радона в различных горных породах**

Порода	Уран, г/т	Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Пористость, %	$K_{\text{эм}}$ , %	Радон, $\text{Бк}/\text{м}^3$
Песчаники	2,9	2,5	20	30	133
Глины	4,0	2,0	20	40	200
Углистые сланцы	15,0	2,6	20	15	500
Каменный уголь	3,5	1,3	15	35	100
Осадочные породы	2,5	1,8	20	55	80

эфффициент диффузии. Следовательно, динамические изменения концентрации в поверхностном слое почвы будут отражать динамические изменения напряженно-деформированного состояния горного массива в значительном объеме.

Изменение напряженного состояния массивов горных пород под действием либо тектонических, либо техногенных причин может приводить к тектоническому землетрясению или к горному удару и обычно возникает при глубине шахт более 300 м. Масштабы этих явлений различны в пространственных и энергетических координатах, но физика явлений практически одна и та же: при увеличении напряженного состояния горных пород выше некоторого предела начинаются необратимые изменения структуры массива горных пород. Динамические изменения структуры горных пород, связанные с изменением их напряженного состояния, вызывают соответственно изменения во времени величины экскальации радона [1, 2]. Радоновую съемку на поверхности применяют с целью выявления геологических нарушений и зон ослабления. Для обеспечения безопасного ведения горных работ необходим постоянный мониторинг радона с целью предупреждения горных ударов.

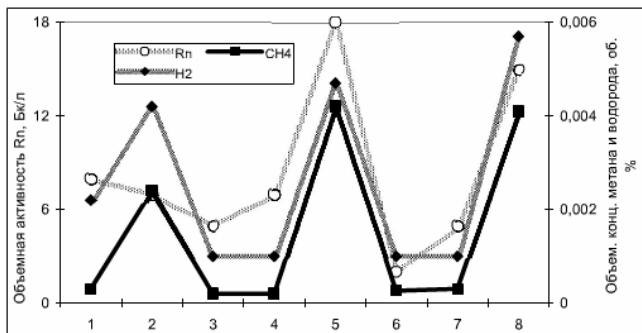
Проведенные эксперименты в шахтах на глубинах от 300 до 600 м по-

казали, что динамические изменения

напряженного состояния горного массива вызывают изменения во времени величины экскальации радона [2]. При этом в зависимости от расстояния от точки наблюдения до эпицентра будущего сейсмического события эти изменения имеют различный характер.

В непосредственной близости от эпицентра будущего горного удара уменьшается выделение радона из массива горных пород. Заметное снижение содержания радона, предшествующее горному удару, может начинаться за 15—20 ч до момента горного удара и наблюдается в радиусе до 100 м от координат будущего эпицентра. На расстоянии более 500 м от будущего эпицентра горного удара предшествует не снижение, а резкое увеличение (в 8-10 раз) содержания радона в наблюдательной скважине, и горный удар следует после прохождения максимума концентрации радона во времени [3, 4].

Результаты исследований почвенного воздуха, полученные на Калужской кольцевой показали синфазность вариаций содержаний водорода и метана, а так же отсутствие связи этих газов с изменениями содержаний углерода и азота. Были сопоставлены данные проб метана и водорода и данных объемной активности радона рис. 1. В результате было установ-



**Рис. 1. Вариации концентраций водорода, метана и объемной активности радона на 8 пикетах на Калужской кольцевой структуре [3]**

лено, что коэффициент корреляции водорода и метана имеет значение 0,96, а коэффициенты корреляции этих газов со значениями объемной активности радона – 0,89 [5].

Параметр плотности потока радона более чувствителен к изменению напряженно – деформированного состояния геосреды, чем величина объемной активности. Это было подтверждено во время аномалии предшествующей усилению сейсмичности у берегов полуострова Камчатка. Величина плотности потока радона увеличилась на 162 % от уровня фона, а величина объемной активности радона в почвенном воздухе на 115 % [7]. Результаты прямых измерений радоновых потоков из горных пород при вибровоздействиях разной частоты, показали, что интенсивность радонового потока немонотонно зависит от частоты вибровоздействия [6]. Максимальный выход радона из горной породы наблюдается при вибровоздействиях на частотах 16 и 32 Гц. В естественных условиях на участке земной коры, непосредственно примыкающем к тектоническому нарушению, уровень эскаляции радона хорошо коррелирует (коэффициент корреляции 0,9) с ам-

плитудой квазигармонических составляющих микросейсмического фона частотой 16,6 Гц.

Закономерности изменений плотности потока радона проявляются как суточные вариации, отклонения от среднего значения в период резкой смены погоды, и как было сказано выше до возникновения сейсмической активности. Кроме изменения напряженно – деформированного состояния земной коры, на значения плотности потока радона так же влияет изменения состояния атмосферы, а именно изменение температуры и давления, скорости ветра и турбулентности.

Результаты методических экспериментов, выбор оптимального режима наблюдений и глубины пробоотбора позволили снизить влияние на объемную активность радона таких метеофакторов, как атмосферное давление, температура и влажность воздуха. [8, 9].

Выявлено, что наибольшие преимущества величина плотности потока радона имеет именно для однородных геологических сред, что очень важно для обеспечения хорошей сопоставимости и воспроизведимости результатов, полученных при измерениях в разных контрольных точках. Величина плотности потока радона может быть использована как самостоятельный или дополнительный прогностический параметр. Одновременное использование двух величин – объемной активности почвенного радона и плотности потока радона с поверхности земли позволит повысить достоверность прогнозных оценок.

---

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.В. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах // Докл. РАН. 1996. Т. 346, № 2. С. 245-248.
2. Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.В. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах // Докл. РАН. 1996. Т. 346, № 2. С. 245-248.
3. Уткин В.И. Газовое дыхание Земли // Соросовский Образовательный Журнал. 1997. № 1. С. 57-64.
4. Уткин В.И., Юрков А.К. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения // Докл. РАН. 1998. Т. 358, № 5. С. 675-680.
5. Войтов Г.И., Рудаков В.П., Шулейкин В.Н., Козлова Н.С. Баранова Л.В. Эманационные и электрические эффекты в атмосфере подпочв над Калужской кольцевой структурой. / Рос. журн. наук о Земле. – 1999- № 6 — С. 503-510.
6. Яковлева В.С. Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов. Томский политехнический университет. – 2011 – С. 20-21, 117-124.
7. Паровик Р.И., Фирстов П.П. Апробация новой методики расчета плотности потока радона с поверхности (на примере Петропавловск – Камчатского геодинамического полигона). АНРИ. – 2009 — №3 — С. 52-57.
8. Бобров А.А. Об особенностях влияния метеоусловий на объемную активность радона в некоторых регионах юга Восточной Сибири // Иркутск, ИЗК СО РАН, 2007, с. 215—216.
9. Бобров А.А. Исследование объемной активности радона в разломных зонах Приольхонья и Южного Приангарья: методика и предварительные результаты // Изв. Сиб. Отд-я Секции наук о Земле РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Иркутск, Изд-во ИрГТУ, 2008, вып. 6 (32), с. 124—129. **ГИАБ**

---

## **КОРОТКО ОБ АВТОРЕ**

Коршунов Г.И. — доктор технических наук, профессор,  
Мироненкова Н.А. — кандидат технических наук, ассистент кафедры, bpirgp@spmi.ru;  
Потапов Р.В. — аспирант;  
Санкт-Петербургский государственный горный университет,  
Пальцев А.И. — кандидат технических наук, заместитель технического директора — начальник технического управления, ОАО «СУЭК-Кузбасс».



---

## **СОВЕЩАНИЕ ПО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВУ В СФЕРЕ ПОИСКА И ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Глава Министерства природы РФ Ю.Трутнев проведет в г. Ханты-Мансийске выездное совещание, посвященное мерам по совершенствованию законодательного регулирования недропользования при поисках, оценке, разведке и добыче углеводородного сырья. Предполагается участие в нем представителей нефтедобывающих компаний.

Совещание пройдет по итогам инспекционных облетов министра и инспекторов Росприроднадзора Нижневартовского и Ханты-Мансийского районов на территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО).

<http://top.rbc.ru/events/18/04/2012/646794.shtml>