

УДК 622.83:550.3

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНОГО МАССИВА НА ДОСТОВЕРНОСТЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОЛЕМ РАДОНОВЫХ ЭМАНАЦИЙ

© 2013 г. Т. Ш. Далатказин

Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58
E-mail: direct@igd.uran.ru

Поступила в редакцию 14.12.2011 г.

Представлены результаты исследований влияния геометрических параметров пористости и трещиноватости геологической среды на распределение вариаций объемной активности радона в почвенном воздухе при изменении напряженного состояния горного массива. Исследованные закономерности необходимо учитывать при интерпретации результатов режимных наблюдений за полем радона при изучении геодинамических процессов.

Ключевые слова: геодинамическая диагностика, проницаемость, радон, режимные наблюдения, трещины, поры.

Одним из направлений практического применения радонометрии в геодинамической диагностике является использование её для изучения изменений напряженного состояния горных пород на основе анализа изменений поля радона во времени с целью прогнозирования развития деформационных процессов [5, 6].

Наиболее обоснованная точка зрения на вариации объемной активности радона в поровом пространстве – это изменение объема пор и трещин трещиновато-пористой среды при изменениях напряженного состояния горных пород. Закрывание и раскрытие пор и трещин приводит к существенным изменениям проницаемости и, как следствие, – к изменению эсхалации радона [4].

Однако при использовании распределения временных вариаций поля радона для дифференциации горного массива по степени геодинамической активности не учитывается степенная зависимость проницаемости геологической среды от геометрических параметров трещин и пор. Т.е., если разные по ширине трещины, а поры – по радиусам сечения, будут сжиматься или расширяться на одинаковую величину, то проницаемость их при этом будет изменяться по-разному. Для трещин, согласно уравнению Буссинеска, проницаемость находится в кубической зависимости от ширины ее раскрытия [9]:

$$q = \frac{g\delta^3}{12\nu} I,$$

где q – единичный расход, м³/с; g – ускорение свободного падения = 9.8 м/с²; δ – ширина раскрытия щели, м; ν – кинематическая вязкость воздуха; I – градиент напора, м.

На графиках (рис. 1) показано, как будет меняться единичный расход двух трещин, если исходная ширина раскрытия первой $\delta_{1\text{исх.}} = 0.1$ мм, а второй $\delta_{2\text{исх.}} = 0.5$ мм будет изменяться на одинаковую величину. Так при изменении ширины раскрытия этих трещин на 0.1 мм, расход через трещину с $\delta_{1\text{исх.}} = 0.1$ мм изменится в 8 раз, а при $\delta_{2\text{исх.}} = 0.5$ мм – в 1.7 раза.

Для пор-капилляров, согласно закону Пуазейля, проницаемость капилляра находится в зависимости от величины радиуса в четвертой степени [8]:

$$Q = \frac{\pi \Delta p r^4}{8\eta L},$$

где Q – расход, м³/с; $\pi = 3.14$; Δp – разность давлений на концах капилляра, Н/м²; r – радиус капилляра, м; η – динамическая вязкость воздуха кг·с/м²; L – длина капилляра, м.

На рис. 2 приведены графики, показывающие, как изменяется расхода газа через поры, если исходный радиус $r_{1\text{исходный}} = 0.01$ мм, а исходный $r_{2\text{исходный}} = 0.05$ мм при изменении радиусов их сечения на одинаковую величину.

Из графиков (рис. 1, 2) следует, что при различных исходных величинах раскрытия трещин и пор, при их изменениях на одинаковую величину, количество фильтрующегося через эти трещины и поры газа изменяется различно. Чем меньше исходная ширина щели или радиус поры, тем интенсивнее изменяется расход газа через них. Таким образом, несмотря на равные по направлению и величине деформации на двух участках горного массива, временные вариации расхода газа будут выше на участке с меньшими значениями δ и r . Это приведет к ошибочным выводам при использова-

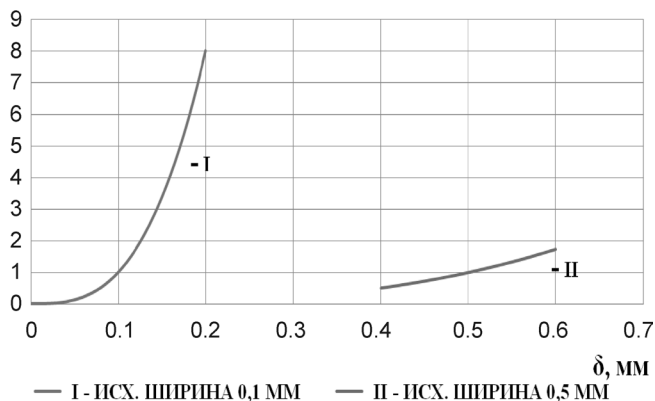


Рис. 1. Изменение расхода газа через трещины при изменении их ширины.

I – исходная ширина 0.1 мм, II – исходная ширина 0.5 мм.

$$K_{\text{пр.}} = q_i / q_{\text{исх.}} = (\delta / \delta_{\text{исх.}})^3; v_1 = v_2 = \text{const}; I_1 = I_2 = \text{const}.$$

нии временных вариаций объемной активности радона (определенных по результатам режимных наблюдений за полем радона в почвенном воздухе) для геодинамического районирования.

Уравнение Буссинеска и закон Пуайзеля используются в гидрогеологии, но теоретические и экспериментальные исследования показывают, что газы при скоростях, небольших по сравнению со скоростью распространения звука в них, ведут себя как несжимаемые жидкости [1].

Для наблюдения этого явления в натуральных условиях, при наличии переменного напряженно-деформационного поля, с целью изучения закономерностей формирования поля радона в зависимости от морфо-структурных особенностей разломной зоны и геодинамического процесса, в 2007 г. на территории геодинамического полигона, расположенного в Ботаническом саду УрО РАН (г. Екатеринбург), были проведены режимные измерения концентрации радона в почвенном воздухе по профильной линии в зоне активного тектонического разлома [7].

Нетектоническим фактором, способным дифференцированно, в зависимости от различий по гранулометрическому составу, положению в рельефе и т.п., изменить фильтрационно-диффузионные свойства покровных отложений, является степень увлажнения. Однако в период проведения эксперимента выпадения атмосферных осадков не наблюдалось.

Ход исследований заключался в следующем: в зоне ранее выявленного разрывного нарушения была проложена профильная линия для режимных измерений величины объемной активности радона в почвенном воздухе. Местоположение наблюдательной профильной линии определено по результатам эманационной съемки, проведенной на полигоне “Ботанический сад” в 2006 году. В ходе этой съемки на локальном участке рядом с домом сторожа было зафиксировано максимальное для территории исследований значение объемной активности

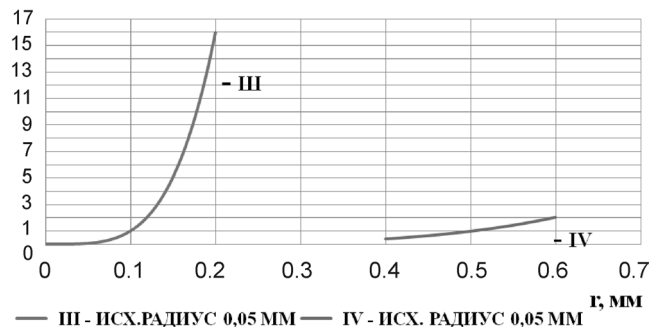


Рис. 2. Изменение расхода газа через поры при изменении сечения их радиусов.

III – исходный радиус 0.01 мм, IV – исходный радиус 0.5 мм. $K_{\text{пор}} = Q_i / Q_{\text{исх.}} = (r_i / r_{\text{исх.}})^4$; $\Delta p_1 = \Delta p_2 = \text{const}$; $\eta_1 = \eta_2 = \text{const}$.

радона в почвенном воздухе, равное 42.9 кБк/м³. Данная аномалия объемной активности радона связана с разрывным тектоническим нарушением северо-западного простирания. Измерения проводились в 4 точках. Расстояние между точками измерения – 10 м.

Измерения выполнены в 9-й серии, ежедневно с 18.10.07 по 26.10.07 с 14–00 по 15–00 местного времени. Выполнение измерений в одном временном интервале позволило исключить влияние лунно-солнечных приливов на результаты эксперимента. Для измерений использовался прибор РГА-500, который согласно “Руководству по эксплуатации”, в диапазоне 0.3–10.0 кБк/м³ имеет предел допустимой основной относительной погрешности не более 30%, а в диапазоне измерений от 10–1000 кБк/м³ – не более 15%. Результаты режимных наблюдений за параметрами поля радона в почвенном воздухе по профилю представлены в табл. 1 и на графиках (рис. 3, 4).

Коэффициент вариации значений объемной активности радона определялся по формуле:

$$V = S / X_{\text{ср.}}$$

где S –среднеквадратичное отклонение изучаемого параметра; $X_{\text{ср.}}$ – среднееарифметическое значение изучаемого параметра

$$S_i^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{ср.}})^2 / n - 1$$

В ходе режимных наблюдений была выявлена обратная зависимость между значениями объемной активности радона и соответствующими им значениями коэффициента вариации. Т.е. наблюдается увеличение коэффициента вариации от осевой части разлома, где значения объемной активности максимальны, к периферии, в направлении которой объемная активность снижается (табл. 1, рис. 3; 4). Это объясняется большей исходной шириной раскрытия трещин в осевой части разлома по сравнению с периферией.

Таким образом, характер распределения коэффициента вариации, вычисленного для величин объемной активности радона в почвенном воздухе за период режимных наблюдений, зависит не только от распределения параметров современной геодинамической активности, но и от зональности по ширине раскрытия трещин и пор. Геодинамические подвижки одного направления и величины по-разному изменяют проницаемость пор и трещин, имеющих различную размерность. Экспериментальные исследования в натурных условиях подтвердили предположение о наличии закономерностей изменчивости поля радона в зависимости от зональности по ширине открытия трещин и пор.

Подтвержденные в натурных условиях горного массива закономерности необходимо учитывать при использовании режимных наблюдений за полем радона при изучении геодинамических процессов. В частности, вышеизложенное свидетельствует о непригодности использования режимных наблюдений за полем радона при решении задачи геодинамического районирования (площадных исследований, направленных на дифференцирование горного массива по степени современной геодинамической активности).

Другое дело – использование для геодинамического районирования результатов эманационной съемки. Методика геодинамического районирования по данным эманационной съемки основа-

на на положительной корреляционной зависимости между интенсивностью эманирования радона из горных пород и степенью воздействия на них напряженно-деформационного поля, поскольку поле радоновых эманаций надразломных участков формируется в соответствии:

- с дифференциацией по степени проницаемости, характерной для подвижных участков разломной зоны и определяющей условия миграции флюидов;
- с распределением степени воздействия упругих волновых колебаний, вызванных современной геодинамической активностью, на горные породы;
- со свойствами радона.

Экспериментальные и промышленные исследования подтвердили эффективность использования радонометрии в варианте эманационной съемки для геодинамического районирования горного массива [2, 7].

Применение геодинамического районирования с использованием данных эманационной съемки при проведении геодинамической диагностики горного массива улучшает экономические показатели исследований в целом, повышает достоверность конечных результатов, направленных на обеспечение безопасности ответственных объектов недропользования.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, соглашение № 8348 и интеграционного проекта УрО РАН № 12-И-5-2050.

Таблица 1. Результаты режимных измерений объемной активности радона в почвенном воздухе по профилю наблюдений

№№	Значения объемной активности радона в почвенном воздухе (кБк/м³)									Коэф.
Т.Н.	18.10.07	19.10.07	20.10.07	21.10.07	22.10.07	23.10.07	24.10.07	25.10.07	26.10.07	вариан. V
1	26.4	30.0	29.8	28.0	28.2	35.0	29.3	31.2	29.8	0.081
2	29.8	31.8	30.2	31.9	36.3	37.6	37.3	35.0	39.7	0.101
3	24.8	22.2	22.7	12.4	18.8	11.6	21.6	25.2	24.6	0.253
4	25.4	18.5	28.3	25.1	32.4	36.3	37.4	31.3	31.2	0.201

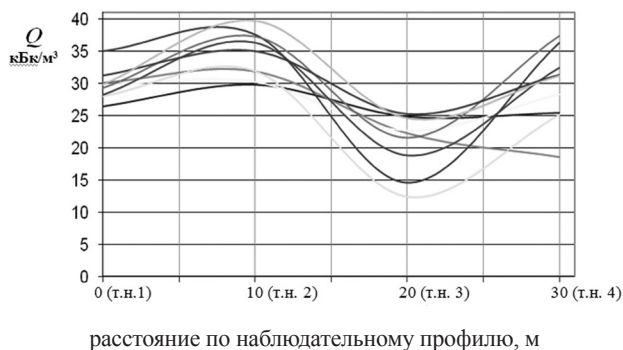


Рис. 3. Графики распределений объемной активности радона в почвенном воздухе по профилю в 9-и сериях за период наблюдений.

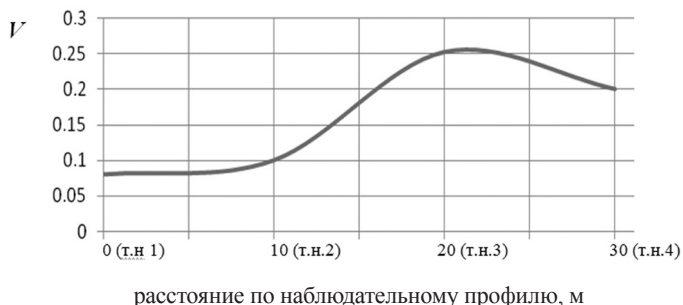


Рис. 4. Распределение коэффициента вариации (V) значений объемной активности радона в почвенном воздухе по профилю за период наблюдений

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валландер С.В.* Лекции по гидроаэромеханике. Л.: ЛГУ, 1978. 296 с.
2. *Далатказин Т.Ш.* Использование радонометрии при структурно-геодинамическом исследовании горного массива для обеспечения безопасности ответственных объектов **недропользования** // **ТехНАД-ЗОР**. 2008. № 2. С. 94–95.
3. *Далатказин Т.Ш.* Создание геодинамического полигона на территории г. Екатеринбурга // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 1. С. 181–184.
4. *Козлова И.А.* Мониторинг радиогенных газов при изучении геодинамических процессов // Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2008. 104 с.
5. Новые методы инженерной геофизики / В.М. Бондаренко, Г.Г. Викторов, Н.В. Демин и др. М.: Недра, 1983. 224 с.
6. *Рынский М.А., Автушко М.И.* О влиянии динамики земной коры на поступление радона к земной поверхности // *Літасфера* (Минск). 2008. № 1 (28). С. 162–165.
7. *Саиури А.Д., Усанов С.В., Ручкин В.И., Далатказин Т.Ш.* Отчет о НИР: Инструментальный контроль процесса сдвижения при разработке Естюнинского месторождения. Екатеринбург. ЗАО “УИГ”, 2011. 72 с.
8. Справочник гидрогеолога / Под ред. М.Е. Альтовского. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 61 с.
9. *Шестаков В.М.* Гидрогеодинамика. М.: КДУ, 2009. 334 с.

Рецензент А.К. Троянов

Influence of massif structural features on geodynamic dividing trustworthiness on the basis of monitoring the field of radon emanations

T. Sh. Dalatkazin

Mining Institute, Urals Branch of RAS

Results of researches of influence of **cracks and porous geometric parameters on distribution of radon concentration** in soil air with changes in tension of massif are presented in the paper. Determined regularities must be taking into account when interpreting monitoring results of radon field while studying geodynamic processes.

Key words: *massif, geodynamic diagnostics, permeability, radon, monitoring, cracks, pores.*