

**ВАРИАЦИИ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА, ВЫДЕЛЯЮЩЕГОСЯ ИЗ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИХ ТЕМПЕРАТУРЫ В ДИАПАЗОНЕ (20–450) °С**

*Козлова И.А., Юрков А.К.* – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

**Аннотация.** Исследуются вариации объемной активности радона-222 (ОАР) в образцах горных пород при изменении их температуры в диапазоне (20–450) °С. Приведены экспериментальные результаты измерения ОАР в гранитном отсеке и глинах. Обсуждаются возможные источники дополнительно выделяющегося радона при нагревании.

*Радон, температура, сорбция.*

**VARIATIONS VOLUMETRIC ACTIVITY OF THE RADON ALLOCATED FROM SAMPLES OF ROCKS AT CHANGE OF THEIR TEMPERATURE IN THE RANGE (20–450) °C**

*Kozlova I.A., Yurkov A.K.* – Institute of Geophysics, UB of RAS, Yekaterinburg

**Abstract.** We studied variations of volumetric activity of radon-222 in rock samples under temperature change from 20 to 450 °C. The paper describes the results of measurements of volumetric activity change in crushed granite and clay. Sources of additional radon enter the pore space when heating are discussed.

*Radon, temperature, sorption.*

**Введение**

Анализ вариаций объемной активности радона-222 в природных условиях свидетельствует об их связи с изменением пористости и проницаемости, обусловленной напряженно-деформированным состоянием горных пород при подготовке и реализации тектонических землетрясений и горных ударов, лунно-солнечными приливами, метеорологическими условиями и рядом других факторов. В большинстве случаев наблюдаемые изменения во времени ОАР удовлетворительно объясняются указанными причинами. Однако достаточно сложно объяснить наблюдаемую связь между изменением ОАР и тектоническими событиями, удаленными на многие сотни километров от мест регистрации, так как приходится допускать, что деформационными процессами охвачены очень большие объемы горных пород (Уткин и др., 2008). Кроме того, приходится допускать наличие напряженного состояния рыхлых горных пород верхней части земной коры (первые метры), в которых обычно размещены детекторы радона. В таких случаях в качестве возможных объяснений наблюдаемых вариаций ОАР может быть поступление дополнительного радона из удаленного

резервуара по образующимся проницаемым каналам (трещинам) (Беликов, Шестаков, 1996) или выделение «дополнительного» радона в поровое пространство вблизи детектора. «Дополнительный» радон может быть адсорбирован на поверхностях пор и трещин и растворен в поровой жидкости (Уткин, Юрков, Козлова, 2008).

Образующиеся в горных породах при распаде радия атомы радона обладают различной миграционной способностью в зависимости от условий, в которые они попадают. Подвижность атомов, оставшихся внутри кристаллической решетки, определяется диффузионными характеристиками минералов и горных пород, которые существенно ниже, чем для жидкостей и газов. Большой подвижностью обладают атомы радона, попавшие в трещино-поровое пространство. В нем они могут находиться в свободном состоянии, если пространство заполнено газовой фазой, в растворенном (в поровой жидкости) и в связанном (на свободных поверхностях за счет процесса физической адсорбции).

Физическая адсорбция присуща любым поверхностям и веществам. Несмотря на то, что для инертных газов явление адсорбции не так значительно как для хими-

чески активных газов, оно может играть определенную роль в балансе радона в поровом пространстве. Следует отметить, что при стандартных определениях коэффициента эманирования учитываются только атомы радона, находящиеся в поровом пространстве в свободном состоянии, так как растворенные в поровой жидкости и адсорбированные на поверхностях пор и трещин атомы не достигают измерительных детекторов.

Присутствие в поровом пространстве атомов радона в трех состояниях отмечено многими исследователями (Сердюкова, Капитанов, 1969; Морозова, Ашкинадзе, 1971; Рябоштан, Горбушина, 1975; Шашкин, Пруткина, 1979). Однако надежные экспериментальные данные в литературе отсутствуют.

Изменения условий окружающей среды, в силу сравнительно слабой связи атомов радона с поверхностью, могут существенно повлиять на процесс эксхалляции (выделения) радона из горных пород. Сорбированный радон при обычных условиях практически не перемещается и не вносит вклад в их эманирующую способность. Воздействуя на образцы горных пород некоторыми физическими факторами, можно изменить их сорбционную способность.

В данной работе в качестве механизма воздействия на образцы горных пород было выбрано изменение температуры. Известно, что повышение температуры приводит к уменьшению сорбционной способности горных пород и, соответственно, переходу какой-то части адсорбированного радона в доступную для измерений газовую фазу (Моррисон, 1980).

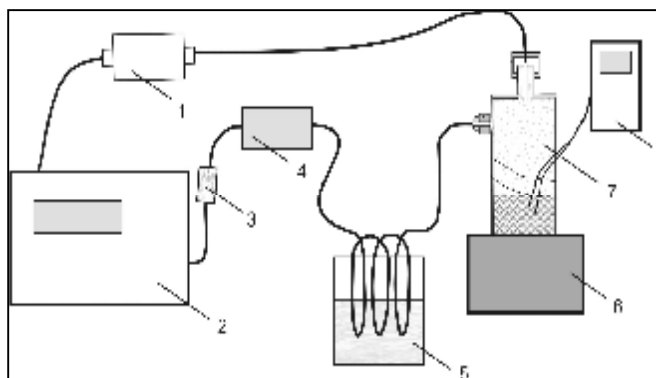
Цель работы – исследовать температурную зависимость измеряемой объемной активности радона образцов некоторых горных пород и оценить количество слабосвязанного (адсорбированного) радона, способного перейти в газовую фазу при температурном воздействии.

#### **Постановка эксперимента**

Лабораторная установка для проведения исследований состояла из измеритель-

ного прибора, насоса, компенсатора давления, холодильника, электрической нагревательной печи, термопары и реактора, в качестве которого использовался металлический корпус стандартного образца радона (Уткин, Юрков, 1997), позволяющий осуществить нагрев помещенного в него испытываемого образца до температуры 450 °С и реализовать циркуляционную схему измерений (рис. 1). Измерение объемной активности радона выполнялось радиометром радона AlphaGUARD, циркуляция воздуха осуществлялась насосом из комплекта радиометра.

Для определения температуры использована самая распространенная в промышленности и научных исследованиях термопара «хромель-алюмель» ХА(140) (Розельберг, Бейлин, 1983).



**Рис. 1.** Схема лабораторной установки для измерений объемной активности радона в циркуляционном режиме: 1 – компенсатор давления; 2 – радиометр радона; 3 – фильтр; 4 – насос; 5 – холодильник; 6 – нагревательная печь; 7 – реактор; 8 – измеритель температуры

Измерительная схема работает следующим образом. Насос обеспечивает непрерывную циркуляцию воздуха по всей схеме с постоянным измерением ОАР. После проведения фоновых измерений включается нагревательная печь и начинается нагрев реактора с дискретными замерами текущей температуры. Для компенсации увеличения давления в схеме за счет повышения температуры циркулирующего воздуха предусмотрен компенсатор давления.

Перед поступлением в измерительный прибор воздух проходит через холодильник. Для уменьшения теплоотдачи реактор закрыт асбестовым экраном. После достижения температуры 300–450 °С отключается питание нагревательной печи и измерения продолжают при остывании реактора до начальной температуры.

Выбор максимальной температуры нагрева 450 °С был обусловлен тем, что ее достаточно даже для очистки активированного угля, являющегося наиболее «сильным» сорбентом. Для снижения возможного влияния температурного увеличения коэффициента диффузии, время эксперимента сокращается за счет увеличения скорости нагрева образца.

Исследования проводились на образцах гранитного отсева (фракция 1–2 мм), сухих и влажных глин. Все измерения проводились с равновесными по радону образцами, накопление радона в которых производилось не менее 25 сут.

#### Полученные результаты

Первоначально были исследованы рабочие характеристики радиометра радона при нагревании реактора без заполнения исследуемым образцом. Реактор заполнили воздухом с концентрацией радона около 300 Бк/м<sup>3</sup>, и провели весь цикл измерений с нагревом и остыванием.

На рис. 2 приведены изменения объемной активности радона в зависимости от температуры реактора.

Полученные результаты показывают, что при нагреве не наблюдаются искажения в работе радиометра при измерении объемной активности радона. Небольшое снижение ОАР при остывании реактора связано с процессом сорбции на соединительных шлангах. Из результатов данного эксперимента следует, что при повышении температуры реактора не наблюдается искажений в показаниях радиометра радона и реализованная схема обеспечивает выполнение поставленных в эксперименте задач.

Следующим этапом было измерение объемной активности равновесного с радием радона из гранитного отсева при нагревании реактора до 350 °С и последующем остывании.

Из приведенной на рис. 3 кривой изменения ОАР видно, что, начиная с температуры 200 °С, возрастает объемная активность радона. При температуре 350 °С ОАР увеличилась почти в три раза, что свидетельствует о дополнительном выделении радона количественно вдвое больше, чем его было до нагрева. После прекращения нагрева и последующего остывания происходит снижение величины ОАР и ее выход на фоновый уровень.

Такое поведение ОАР при снижении температуры свидетельствует о том, что мы имеем дело с радоном, который может как выделяться при нагреве образца, так и вновь адсорбироваться при остывании.

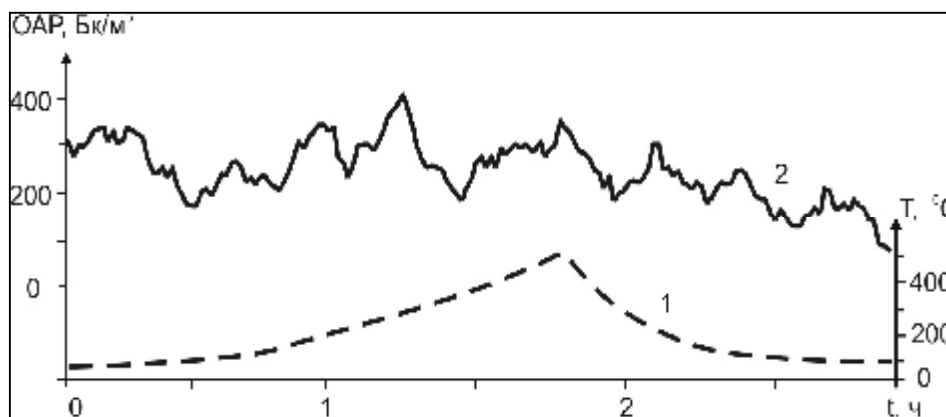
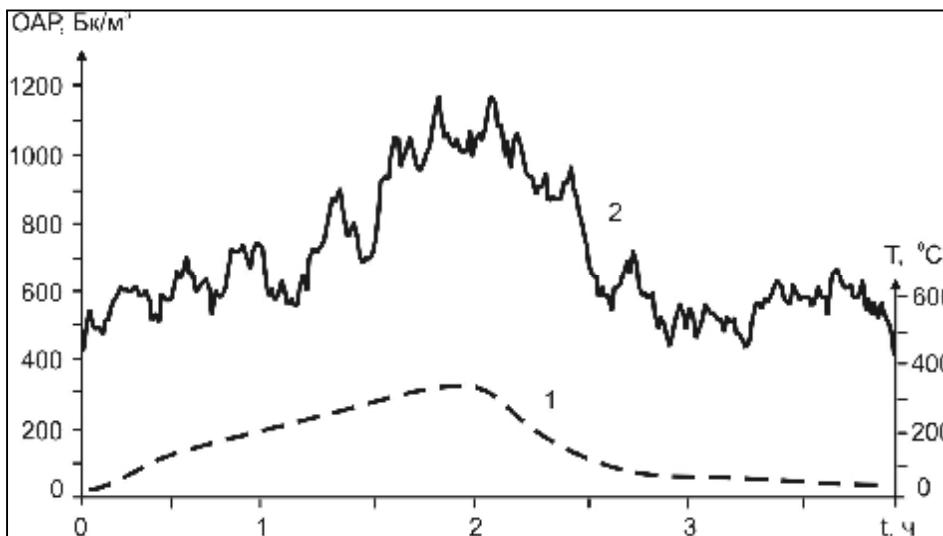


Рис. 2. Изменения температуры (1) и объемной активности радона (2) в заполненном воздухом реакторе



**Рис. 3.** Изменение температуры (1) и объемной активности радона (2) в реакторе с гранитным отсеком при нагреве до 350 °С

На рис. 4 приведены результаты исследований образца влажной глины. Поведения объемной активности радона при нагреве и остывании глин характеризуется резким снижением ОАР при остывании до значений ниже первоначальных.

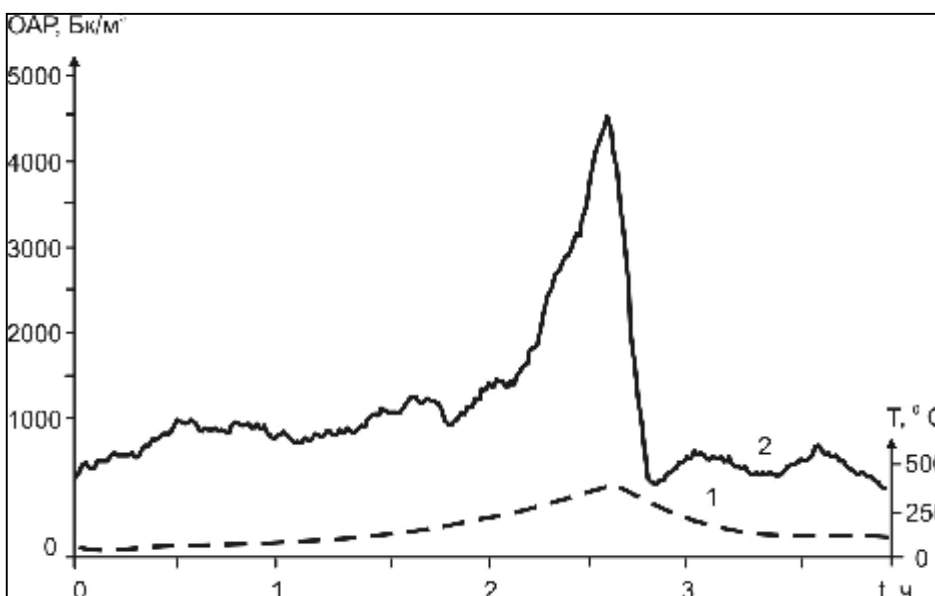
Возможным объяснением такого поведения кривой ОАР стало предположение о том, что находящаяся в глине вода при нагреве частично испарилась, тем самым освободились дополнительные поверхности (вакансии), на которые при остывании адсорбировался выделившийся ранее радон, понизив тем самым первоначальную равновесную ОАР.

Для проверки этого предположения реактор, заполненный глиной, подвергли

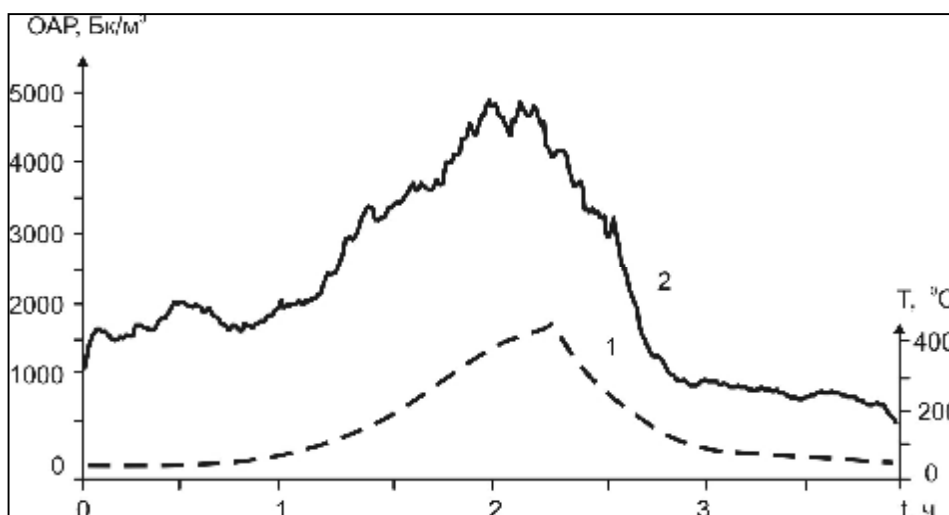
вакуумной сушке при температуре 400 °С. Затем, после установления через 25 дней равновесия в системе радон-радий, был проведен повторный эксперимент с нагревом и остыванием.

Результаты этого эксперимента приведены на рис. 5.

Характер поведения кривой ОАР изменился – стал более плавным, отсутствует резкое снижение после начала остывания. Очевидно, что частичное удаление воды из глины привело к изменению ее сорбционных характеристик, а зависимость изменений ОАР от температуры стала более похожа на зависимость, измеренную для гранитов.



**Рис. 4.** Изменение температуры (1) и объемной активности радона (2) в реакторе с глиной при нагреве до 450 °С



**Рис. 5.** Изменение температуры (1) и объемной активности радона (2) в реакторе с глиной подвергнутой вакуумной сушке

### Выводы

Серия выполненных экспериментов показала увеличение объемной активности радона при нагревании образцов и снижение ее до первоначального (и даже ниже) уровня при остывании.

Увеличение значений объемной активности радона при нагреве достигает 300–450%. Это говорит о том, что количество выделившегося дополнительного радона в 2–3 раза больше измеренного при обычных условиях. Так как дополнительный радон доступен для измерений в газовой фазе, то это означает, что он находится в сообщаемом трещинно-поровом пространстве.

При остывании образца величина ОАР возвращается на фоновый уровень. Поскольку диффузия радона в кристаллическую решетку (если предположить, что он все-таки выделился из нее) за короткое время эксперимента и при снижении температуры маловероятна, то, скорее всего, мы имеем дело с адсорбированным на поверхностях порового пространства радоном.

Работа выполнена в соответствии с планом работ по Программе № 4 Президиума РАН и Программе № 6 ОНЗ РАН.

### Литература

Беликов В.Т., Шестаков А.Ф. Влияние процессов разрушения на миграцию радона в трещиновато-пористой среде. Ин-т геофизики УрО РАН. Екатеринбург, 1996. 38 с. – Рукопись деп. в ВИНТИ 11.07.96. № 2315-В96.  
Моррисон С. Химическая физика поверх-

ности твердого тела. М.: Мир, 1980. 488 с.

Морозова И.М. Ашкинадзе Г.Ш. Миграция атомов редких газов в минералах. Л.: Наука, 1971. 121 с.

Розельберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термопар. Справочник. М.: Metallurgia, 1983. 360 с.

Рябоштан Ю.С., Горбушина Л.В. Эманиционный метод индикации геодинамических процессов при инженерно-геологических изысканиях // Советская геология. 1975. № 4. С. 15–18.

Сердюкова А.С., Капитанов Ю.Т. Изотопы радона и короткоживущие продукты их распада в природе. М.: Атомиздат, 1969. 312 с.

Уткин В.И., Юрков А.К. Стандартный образец радона. Патент РФ № 2075092. 1997.

Уткин В.И., Демежко Д.Ю., Юрков А.К., Муравьев Л.А., Рыбин А.В., Жарков Р.В.

Отражение Курильских землетрясений 2006 года в радоновом и гидродинамическом полях на острове Кунашир // Геофизика XXI столетия. Сборник трудов Девярых геофизических чтений им. В.В. Федынского. Тверь: ГЕРС, 2008. С. 194–197.

Уткин В.И., Юрков А.К., Козлова И.А. Выделение радона из горных пород при воздействии на них упругих колебаний различного диапазона // Геофизика XXI столетия. Сборник трудов Девярых геофизических чтений им. В.В. Федынского. Тверь: ГЕРС, 2008. С. 317–320.

Шашкин В.Л., Пруткина М.И. Эманирование радиоактивных руд и минералов. М.: Атомиздат, 1979. 300 с.