

## Влияние водопоглощения горной породы на эманлирующую способность

к.т.н. С.А. Кургуз, к.т.н. И.В. Тарасов  
ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае»,  
г. Красноярск, Россия

Несмотря на длительную историю исследований эманлирования различных веществ, вопрос о влиянии содержания поровой влаги на эманлирование горных пород до сих пор остается открытым. Вместе с тем, известно, что влажность это практически единственный внешний фактор в условиях нормальных температур и давления естественной среды, который может существенно влиять на эманлирование. Учитывая широкий диапазон изменения естественной влажности горных пород исследования в данной области представляются нам крайне актуальными. Существующие на сегодняшний день точки зрения на подобную проблему у многих авторов порой кардинально отличаются и зачастую противоречат друг другу: от объяснений о незначительном влиянии влажности на радоновыделение из горных пород и строительных материалов (на уровне процентов) до крайне значительных (в десятки процентов) изменений их фактической эманлирующей способности.

Так, например, в литературе наиболее распространено мнение, что увеличение степени заполнения пор породы водой препятствует выходу радона из порового пространства и, соответственно, приводит к снижению коэффициентов эманлирования породы, т. е. при увеличении влажности породы уменьшается коэффициент диффузии в пористой среде. Данное положение подтверждается, например, работами И.Е. Старика и его сотрудников [1, 2, 3]. В этих и других работах, посвященных изучению эманлирования радиоактивных руд и минералов [4] приведены результаты исследований эманлирования урановых минералов и дана оценка влияния ряда физических факторов на процесс эманлирования. Так, например, в сухом песке авторами [4] было получено значение коэффициента диффузии  $D = 6,5 - 7 \cdot 10^{-2} \text{ (см}^2 \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$ , а при влажности 15 %  $D = 1,5 - 2 \cdot 10^{-2} \text{ (см}^2 \cdot \text{с}^{-1}\text{)}$ .

Позднее В.Л. Шашкин и М.И. Пругкина в работах [5, 6] обобщили имеющийся накопленный материал и предприняли попытку его объяснения с единых позиций на основе анализа результатов своих экспериментов и описанных в литературе экспериментов других исследователей [7]. Полученные данные позволили установить, что атомы отдачи удерживаются в капиллярах пленочной водой, покрывающей их стенки, а дальнейшее движение атомов зависит от динамического равновесия адсорбции и десорбции радона на стенках капилляров. Также в работах [8, 9] было показано, что выход радона из образцов и его перенос через пористую среду в существенной степени зависит от влажности материала и при значительной пористости и полном насыщении пор материала воздухом коэффициент диффузии ( $K_D$ ) радона в этом материале будет приближаться к  $K_D$  в воздухе ( $(1,0 - 1,3) \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ), а при насыщении его водой к  $K_D$  в воде ( $(1,1 - 1,6) \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ ). По-видимому, в узких капиллярах эманация передвигается не путём диффузии в воздухе, а в результате более сложного процесса, в который входит и адсорбционное взаимодействие. При этом атомы отдачи, с одной стороны, могут тормозиться адсорбированной на стенках капилляров водой, а с другой стороны вода, способна уменьшать эффект адсорбции.

Существует и другая точка зрения о крайне незначительном влиянии влажности на радоновыделение из горных пород. Так, например, в работе [10] утверждается, что предположение о значительном влиянии на процесс переноса радона жидкой или парообразной влаги пока не доказано, а авторы другой работы [11] однозначно показывают неспособность такого физического фактора, как влажность материала, сколько-нибудь существенно влиять на уровень его радоновыделения. При этом в своих исследованиях песчано-глинистых пород авторы оппонировали к данным, полученных Г.Ф. Новиковым [12] для образцов урановых руд, показанных на рис. 1.

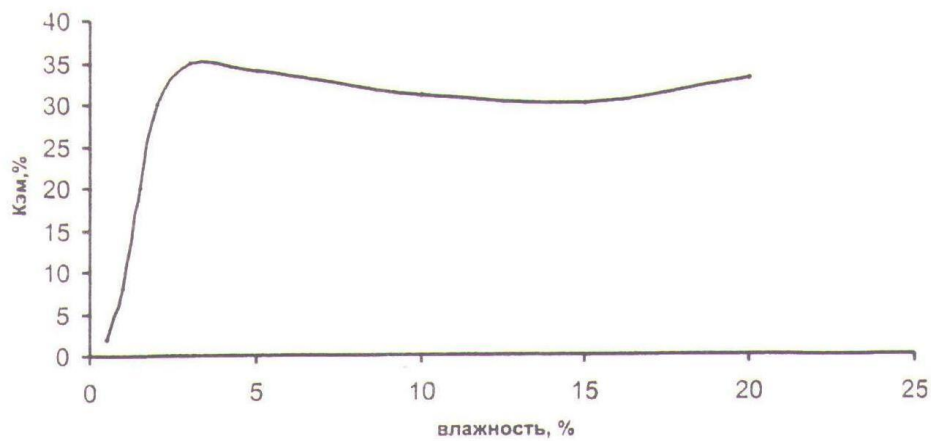


Рис. 1. Изменение коэффициента эманирования урановых руд с повышением влажности после прокаливания образцов [5].

2. Значительной, по сравнению с размерами пор и микрокапилляров, величиной пробега атомов отдачи радона в воздухе

могут атомы отдачи, удерживая их в порах. Дальнейшее увеличение толщины водных пленок, судя по всему, слабо влияет на рас-

нами  
мент,  
редел  
янии  
диспе  
рован

По  
дения  
ент эм  
ляется  
свобо  
гося в  
щему  
щемус  
диоак  
ем (Ri

Рис. 1. Изменение коэффициента эманирования урановых руд с повышением влажности [11].

Практика нашей многолетней работы показывает и позволяет утверждать, что для различных горных пород и строительных материалов с повышенным содержанием радия-226 наблюдаются принципиально разные картины влияния влажности на радоновыделение. От практически несущественного изменения (на несколько процентов) коэффициента эманирования образцов при варьировании их влажности в широких пределах (от сухого – к состоянию их полного водопоглощения) до абсолютно кардинальных изменений коэффициента эманирования в десятки процентов. Примером могут служить данные, приводимые в работе [13], в которой показана изменчивость радоновыделения в 1,5 раза для образца горной породы, помещаемого в качестве источника газа радона в герметичный контейнер при различной относительной влажности среды.

Исследуемый образец горной породы был взят из рудного отвала «Согренский» в пределах Усть-Ангарского месторождения, расположенного на правом берегу Ангары в районе юго-западной окраины пос. Усть-Ангарск Красноярского края. Отвал был образован в результате проходки четырех разведочно-эксплуатационных штолен в скальном береговом уступе высотой около 40...43 м и занимает участок берега от подножья уступа до уреза воды реки Ангары (рис. 2 и 3). Общий вид отвала напоминал усеченный конус и веерообразную форму в плане с максимальными размерами основания 70 × 36 м (на момент осени 2006 г). Высота выровненной верхней площадки над урезом воды в меженьный период составляла 6 – 7 м и определялась уровнем воды в реке (рис. 3). При этом конфигурация внешней границы отвала со стороны Ангары регулярно претерпевала изменения в связи с постоянным размывом рекой, особенно в паводковые периоды. С поверхности горная масса отвала представляла собой не связанный дресвяно-щебнисто-глыбовый агрегат горных пород (доломитизированных известняков) с незначительным количеством песчаной и суглинистой фракции. Границы рудного отвала Согренского участка отчетливо фиксировались по показателю мощности дозы (МД) гамма-излучения. При этом около 78...80 % площади отвала занимают породы, обладающие МД гамма-излучения более 0,3 мкЗв/ч, около 45–50 % – более 0,6 мкЗв/ч и около 25 % – более 1,0 мкЗв/ч [14].

После завершения масштабных работ и защитных мероприятий к осени 2010 г, выполненных специализированным ООО «Квант» (г. Красноярск), границы и фиксируемые значения МД гамма-излучения кардинально изменились в сторону их уменьшения. Внеш-

ний вид территории отвала «Согренский» и бывших разведочно-эксплуатационных штолен после выполнения защитных мероприятий показан на нижних фотографиях рис. 2 и 3.



Рис. 2. Положение рудной зоны с урановым оруденением в скальном уступе доломитизированных известняков на участке «Согренский» (осень 2006 г). Ниже – состояние (сентябрь 2010 г) после выполнения защитных мероприятий ООО «Квант», г. Красноярск

Рис. 3. Вид рудного отвала участка «Согренский» со стороны причала (осень 2006 г). Ниже – состояние (сентябрь 2010 г) после выполнения защитных мероприятий ООО «Квант», г. Красноярск

Там же в качестве опытного образца нами был выбран обломок доломитизированного известняка (максимальные линейные размеры:  $130 \times 75 \times 42$  мм; масса - около 540 г в естественных условиях влажности).

Выбор подобного образца горной породы для эманационных испытаний был продиктован необходимостью достоверной регистрации изменений его массы при определении водопоглощения горной породы, а также возможностью достижения уровней радона в герметичном контейнере, существенно превосходящих эманационную способность традиционных образцов строительных материалов и сырья. Внешний вид образца горной породы и его положение в установке для эманационных испытаний показаны на рис. 4 и рис. 5.





Рис. 4. Внешний вид опытного образца



Рис. 5. Лабораторная установка для эманационных испытаний

Регистрация значений влажности среды, температуры и объемной активности радона осуществлялась с интервалом каждые 10 мин в течение не менее 17 ч (максимально – 50 ч) при помощи многопараметрического радонового монитор-дозиметра «AlphaGUARD PQ 2000», установленного в герметичный контейнер емкостью 50 л вместе с опытным образцом. Средняя температура среды внутри контейнера преимущественно сохранялась постоянной ( $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) для каждого эксперимента серии.

Выполнение серии подобных эманационных испытаний предусматривало предварительное увлажнение опытного образца до постоянной массы (548 г) в течение 3 суток (достижение полного водопоглощения) и постепенное (от опыта к опыту) его высыхание в естественных условиях, а затем и принудительно – до постоянной массы (537,6 г). Эксперимент с абсолютно сухим образцом был выбран начальным, относительно которого оценивались результаты других экспериментов для промежуточных значений водопоглощения материала. В качестве критерия оценки результатов каждого испытания было выбрано отношение фактической эманацирующей способности, определяемой количеством свободной эманации, выделяемым во внешнее пространство твердым веществом единичной массы, к первоначальной величине (в сухом состоянии). Результаты исследования показаны на рис. 6, на котором хорошо видно, что для данного образца горной породы содержание влаги способствует кардинальному изменению его эманацирующей способности.

Уже при величине водопоглощения свыше 0,6 % (или около 50 % открытых пор) достигаются «экстремальные» значения эманацирующей способности, отличающиеся от значений для образца в сухом состоянии более чем на 100 %. Характерно, что при величине водопоглощения более 1,5 % (заполнение более 70 % открытых пор) наблюдается некоторое падение эманацирующей способности с сохранением все же экстремальных значений. На наш взгляд это наглядно иллюстрирует способность влаги в порах породы препятствовать свободному радоновыделению. На рисунке хорошо видно, что величина эманирования уверенно увеличивается при заполнении отрыхтых пор водой до половины по объему. Однако совершенно непонятно почему почти при 100% заполнении открытой пористости эта величина превосходит исходную почти в 2 раза. По всей видимости, здесь следует иметь ввиду степень заполнения водой порового пространства. Поры никогда полностью не «закупориваются» для атомов радона.

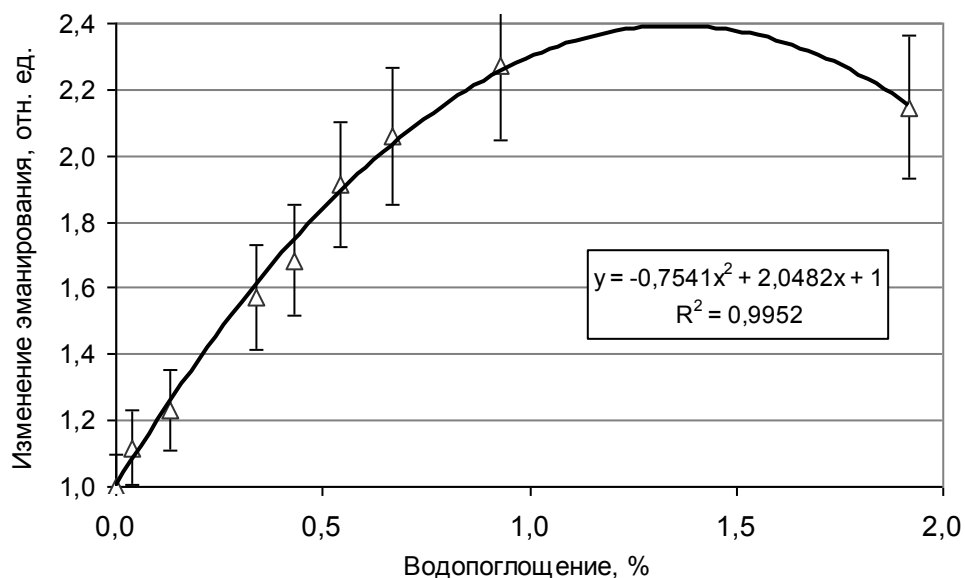


Рис. 6. Изменение эманирования опытного образца в зависимости от его водопоглощения

Последующие эксперименты также показывают, что начало отклика для подобных вариаций эманлирующей способности у фрагментов с рудного отвала участка «Согренский» на изменение влажности воздуха может проявляться достаточно быстро (уже через 10-20 минут), а величины подобных изменений остаются постоянными для конкретных значений влажности воздуха или влагосодержания самой породы. При длительном выдерживании в течение двух и более недель при неизменных значениях влажности воздуха в герметичном контейнере эманлирующая способность подобных образцов, характерная для данного вида влажности среды или влагосодержания породы, остается неизменной. В этом отношении показательными являются результаты сравнительных испытаний фрагмента высушенного образца массой 57 г и в увлажненном состоянии, показанные на рис. 7. Значения относительной влажности в газовой среде контейнера составили  $31 \pm 3\%$  и  $49 \pm 3\%$  соответственно.

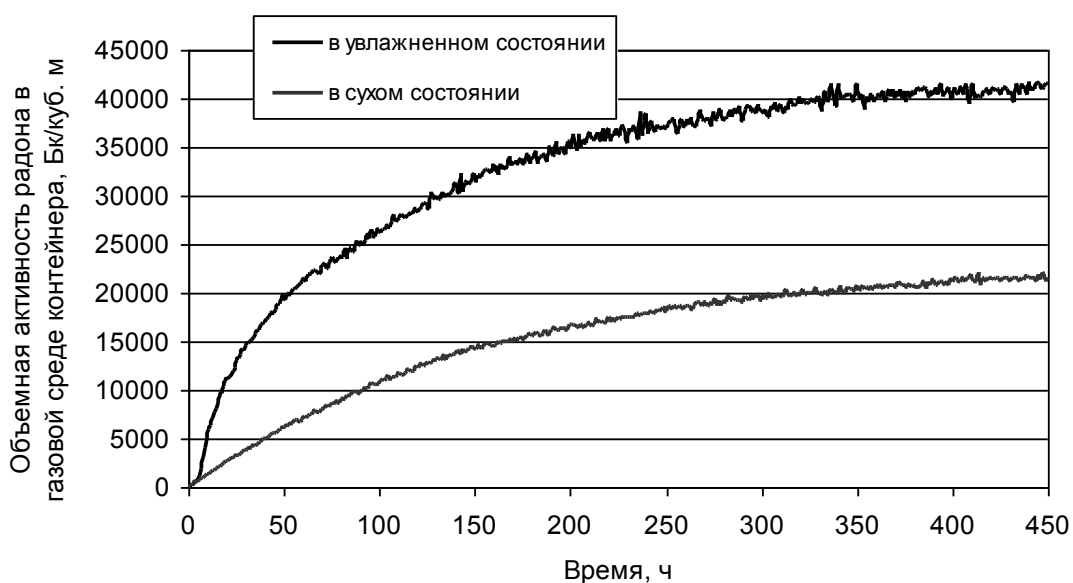


Рис. 7. Результаты длительных наблюдений для фрагмента опытного образца горной породы в сухом и увлажненном состоянии.

Поскольку при исследованиях степени ослабления потока радона при его диффузионном переносе через слой материалов и пород, близких или подобных по химическому и минералогическому составу к фрагментам с участка «Согренский», в т.ч. и с низким (типичным) содержанием радия-226, не подтверждает описываемую картину экстремумов, можно предположить, что первопричиной, по-видимому, является не столько наличие, сколько структура и состав солей радия-226.

#### Литература:

1. Старик И.Е. Вопросы геохимии урана и радия // Академику В.И. Вернадскому к пятидесятилетию научной и педагогической деятельности / И.Е. Старик. – М., Изд-во АН СССР, 1936. С. 445-462.
2. Старик И.Е. Эманирующая способность минералов / Старик И.Е., Меликова О.С. // Тр. Радиевого института. Т. 5, Вып. 2. 1957. С. 184-202.
3. Старик И.Е. Факторы, влияющие на эманирующую способность искусственных солей и минералов / Старик И.Е., Меликова О.С. // Радиохимия. Т. 1, Вып. 5. 1959. С. 196-203.
4. Булашевич Ю.М., Хайритдинов Р.К. К теории диффузии эманации в пористых средах. – Изв. АН СССР. Сер. Геофиз., 1959, № 12, с.: 1787.
5. Шашкин, В.Л. Эманирование радиоактивных руд и минералов / Шашкин В.Л., Пруткина М.И.. – М.: Атомиздат, 1979. – 112 с
6. Пруткина М.И. Эманирование радона из урановых руд и минералов в жидкости / Пруткина М.И., Шашкин В.Л. // Атомная энергия. 1967. Т. 22. Вып. 2. С. 140-141.
7. Ратнер А.П. Несколько замечаний о механизме эманирования. // Труды Радиевого института. – Л., 1937. – Т. 3. – С. 135-140.
8. Экспозиционные эманационные методы поисков месторождений полезных ископаемых / Титов В.К., Венков В.А., Авдеева Т.Л., Кувшинникова Е.И. – Л.: Недра, 1985. – 132 с
9. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: справоч. Изд. / Баженов В.А., Булдаков Л.А., Василенко И.Я. и др.; Под ред. В.А. Филова и др. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.
10. Гулабянц, Л.А. Плотность потока радона как критерий оценки радоноопасности / Л.А. Гулабянц, Б.Ю. Заболотский // АНРИ. – 2004. - №3. - С. 16-20
11. П.С. Микляев, Т.Б. Петрова. Влияние влажности на эманирование песчано-глинистых пород/ АНРИ, № 1, 2009, с. 53-57.
12. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. Л.: Недра, 1989, 407 с.
13. Тарасов И. В. Цементные бетоны и растворы с пониженной естественной радиоактивностью и радонопроницаемостью: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / СФУ. – Красноярск, 2008. – 22 с.
14. Коваленко В.В., Григорьев А.И., Чечеткин В.А. и др. Оценка радиационной опасности рудных отвалов Усть-Ангарского уранового месторождения / Отчет о НИР ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае», 2006, 101 с.