

УДК 550.504

ПЕРЕНОС РАДОНА В ПРИПОВЕРХНОСТНЫЕ СЛОИ ГРУНТА И ПРИЗЕМНУЮ АТМОСФЕРУ

© 2013 г. В.Н. Шулейкин

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва, Россия

Представлены результаты наблюдений за содержанием и распределением радона до глубины 2 м. Предложена модель переноса радона с глубины в приповерхностные слои грунта и атмосферу пузырьковыми образованиями водорода и метана. Проведена проверка работоспособности модели при содержании метана в грунте 10^{-6} – 10^{-5} и 10^{-3} – 10^{-2} об. %.

Ключевые слова: радон, перенос, грунт, атмосфера, водород, метан.

Введение

Проблема контроля за содержанием радона, его вариациями в приповерхностных слоях грунта и приземной атмосфере представляет особый интерес для городской геофизики, экологии, медицины [Павлов, 1998; Основные..., 2000; Микляев, Петрова, 2007; Зайцев и др., 2008], поскольку на урбанизированных территориях подземные постройки, коммуникации, теплотрассы перераспределяют картину естественной, сравнительно низкой средней плотности радона, не представляющей реальной опасности для здоровья людей и приводят к его накоплению в подвальных помещениях, локальному избыточному сбросу в атмосферу. Для решения задачи оценки и прогноза содержания радиогенного газа необходимо знать его транспортный механизм в приповерхностных слоях грунта и приземной атмосфере.

Результаты экспериментов и модельные построения

Транспорт радона по горной породе осуществляется благодаря механизмам диффузного и конвективного переноса [Баранов, 1956]. Конвективному переносу присуща большая скорость: по экспериментальным данным ее максимальное значение в песчано-глинистых средах колеблется в пределах 40–60 см/сут. За три периода полураспада концентрация радона успевает упасть практически на порядок. Принимая во внимание период полураспада радона $\tau = 3.825$ сут, можно грубо оценить его перенос за 12 дней величиной 5–7 м.

Задача о распределении радона в грунте у поверхности Земли решена аналитически для ряда модельных представлений [Баранов, 1956], из которых остановимся на двух, представляющих интерес для рассматриваемой задачи:

1) бесконечный однородный радиоактивный пласт, выходящий на дневную поверхность;

2) нерадиоактивный слой, покрывающий радиоактивный слой бесконечной мощности.

В граничных условиях всех решений полагается, что концентрация радона на уровне дневной поверхности, а соответственно, и в атмосфере нулевая. Подобное ограничение вполне оправдано: по статистическим данным работ [Сисигина, 1962, 1965] отношение концентраций радона на глубине 2–3 м относительно дневной поверхности к радону атмосферы не менее 100; в частности, в работе [Стыро, 1959] предельное отношение объемной активности радона на глубине 2 м к объемной активности радона атмосферы составляет 320.

Оценки распределения газа-эманации для бесконечного однородного пласта, выходящего на дневную поверхность, ($Q1$) и для нерадиоактивного слоя мощностью $H = 3$ м, покрывающего радиоактивный слой бесконечной мощности, ($Q2$) представлены на рис. 1.

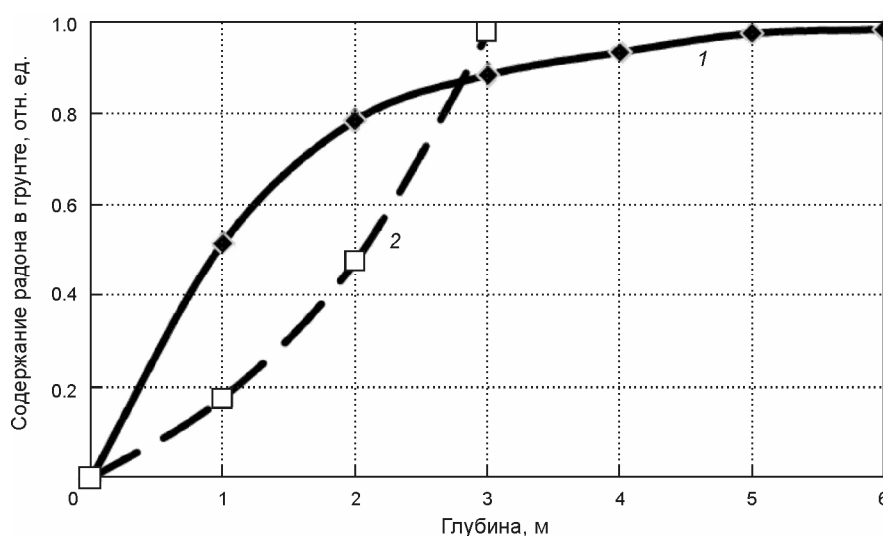


Рис. 1. Относительный уровень концентрации радона в грунте по глубине для однородного радиоактивного слоя (1) и для нерадиоактивного слоя (2) мощностью $H = 3$ м, покрывающего радиоактивный слой бесконечной мощности

Для модельного приближения $Q1$ содержание радона от нулевого на дневной поверхности асимптотически приближается к максимуму уже на глубине 4–6 м. Согласно заключению работы [Баранов, 1956], для бесконечного однородного пласта, выходящего на дневную поверхность, диффузионный перенос радона осуществляется именно с этих глубин.

Для модельного приближения $Q2$ содержание радона от максимального на глубине $H = 3$ м падает до нуля у дневной поверхности.

Рассмотрим экспериментальные данные по распределению радона на глубинах первых дециметров–метров относительно дневной поверхности (результаты наблюдений, представленные в работе [Стыро, 1959]). В течение 6.5 мес. – с 4 сентября по

19 марта – было отобрано 264 пробы радона почвенного воздуха с глубин 0.25, 0.75, 1.5 и 2.0 м; содержание радона в атмосферном воздухе не контролировалось.

Период наблюдений захватывал осень, зиму и весну. В зимний период промерзание грунта задерживает поступление радона в атмосферу, способствуя тем самым его накоплению в приповерхностных слоях. Подобное промерзание имело место с 10 января по 1 марта. Объемная активность радона за этот период на глубине 0.25 м в среднем возросла в 5.8 раза, на глубине 0.75 м – в 2.2, на глубине 1.5 м – в 1.2, на глубине 2.0 м осталась без изменений.

В связи с этим весь массив данных был разделен на две части: 16 групп наблюдений считались полученными в условиях промерзания грунта; оставшиеся 50 групп – в условиях без промерзания. Средние значения объемной активности радона по четырем уровням в условиях промерзания грунта и без его промерзания, а также максимальные значения объемной активности радона грунта по рабочим уровням за весь период наблюдений представлены в табл. 1.

Таблица 1. Среднее и максимальные значения объемной активности радона грунта (Бк/л) на четырех уровнях наблюдений за период 4 сентября–19 марта (по [Стыро, 1959])

Условия измерений	Глубина, м			
	0.25	0.75	1.5	2
Промерзание, Rn(промерзание)	2.4	3.1	3.4	3.8
Без промерзания, Rn(без промерзания)	0.4	1.4	2.7	3.8
Максимальное, Rn(max)	3.1	3.3	3.5	4.3

Для перехода к относительным единицам средние абсолютные значения объемной активности радона (см. табл. 1) нормировались на максимальную объемную активность радона грунта, зарегистрированную за весь период измерений, $Rn(2.0\text{ м}) = 4.3$ Бк/л. Ввиду малых средних значений объемной активности радона на глубине 0.25 м в условиях без промерзания ее нормированное значение на уровне дневной поверхности полагалось равным нулю. Полученные относительные вариации радона от нулевого уровня до глубины 2.0 м в условиях промерзания грунта (кривая 2) и без его промерзания (кривая 1) представлены на рис. 2.

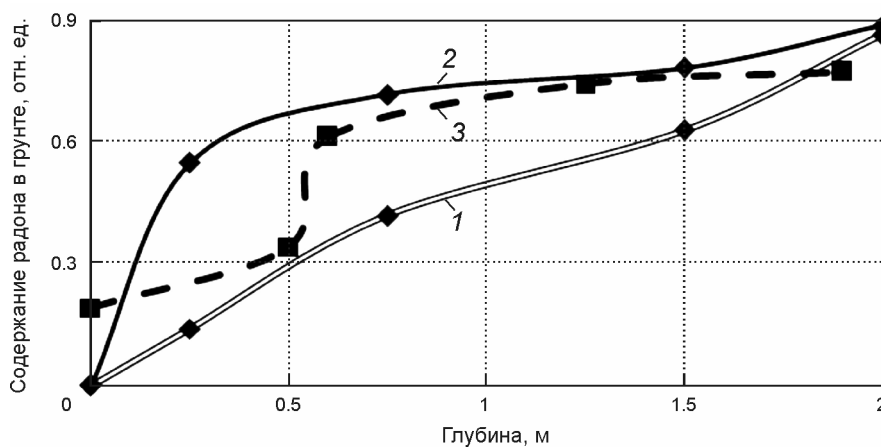


Рис. 2. Относительный уровень содержания почвенного радона по глубине
1 – $Rn(\text{без промерзания})/Rn(\text{max})$; 2 – $Rn(\text{промерзание})/Rn(\text{max})$; 3 – $Rn(\text{Лам})/Rn(\text{max})$

В двух рассмотренных примерах – $Rn(\text{промерзание})/Rn(\text{max})$ и $Rn(\text{без промерзания})/Rn(\text{max})$ – полученные в ходе наблюдений вариации контролируемого параметра близки к расчетным значениям для первого модельного приближения – вариациям радона в бесконечном однородном пласте, выходящем на дневную поверхность. Зарегистрированные изменения идут с отклонениями от плавного асимптотического хода расчетной кривой $Q1$ (см. рис. 1), что вполне объясняется неоднородностью реальной геологической среды. Скорее всего, это следствие случайного внедрения глинистых вкраплений, содержание радия в которых ($1.3 \cdot 10^{-10} \%$) всего лишь в 2 раза меньше, чем в гранитах ($2.58 \cdot 10^{-10} \%$) [Кошкин, Ширкевич, 1976].

Рассмотрим коэффициенты корреляции между вариациями объемной активности радона в пробах, отобранных на разной глубине. В отсутствии промерзания грунта коэффициент корреляции между радоном в пробах с глубин 0.25 и 0.75 м $k(0.25;0.75) = 0.72$, при промерзании – $k(0.25;0.75) = 0.64$. Причина спада корреляции, скорее всего, в том, что без промерзания на содержание радона влияет только процесс переноса, а при промерзании – процесс переноса и накопления радиогенного газа. В пользу этого говорит отмеченное выше увеличение содержания радона, особенно на уровнях 0.25 и 0.75 м.

Третий значащий коэффициент корреляции был получен между вариациями объемной активности радона в отсутствии промерзания грунта на уровнях 1.5 и 2.0 м – $k(1.25;2.0) = 0.79$. Полученный результат позволяет высказать ряд предположений. С одной стороны, газопроницаемость грунта на глубинах 0.25–0.75 и 1.5–2.0 м практически одинакова, хотя следовало бы ожидать, что на большей глубине будет меньшая газопроницаемость. С другой стороны, меньший коэффициент корреляции вариаций радона на меньших глубинах является следствием дополнительных процессов, влияющих на содержание радона. Это попадание и испарение влаги из атмосферы в приповерхностные поры грунта и «ветровое подсосывание» радона в атмосферу [Стыро, 1959, 1968].

В рассмотренном примере распределения радона по глубине зарегистрированные средние значения контролируемого параметра сравнительно малы (см. табл. 1). Дополнительный эксперимент был поставлен в условиях аномально высоких объемных активностей радона. Средний уровень объемной активности радона в атмосфере $Rn(a)$ за трехсуточный период наблюдений составил 7.6 Бк/л.

За все время наблюдений было проанализировано 65 проб, отобранных в атмосфере и на глубинах 0.5, 0.6, 1.25 и 1.9 м. Измерения проходили на левом берегу р. Полосня у д. Ламоново Тульской обл. Площадка, на которой проводился отбор проб, находилась на высоте ~ 2 м относительно уреза воды, т.е. на расстоянии 3–4 м от мощного глинистого водоупора. Другими словами, грунтовые условия наблюдений были близки к модельному приближению $Q2$ (см. рис. 1). Средние и максимальные значения объемной активности радона на перечисленных отметках представлены в табл. 2.

Таблица 2. Среднее и максимальные значения объемной активности радона грунта на пяти уровнях наблюдений у д. Ламоново, Тульская обл.

Объемная активность радона, Бк/л	Глубина, м				
	0– $Rn(a)$	0.5	0.6	1.25	1.9
Средняя	7.6	13.7	24.5	29.7	31.0
Максимальная	9.3	20.5	31.4	36.3	40.2

Переход от абсолютных значений к относительным осуществлялся путем нормирования на максимальное значение объемной активности радона, зарегистрированное на глубине 1.9 м (последняя строка табл. 2). Среднее значение объемной активности радона атмосферы полагалось равным объемной активности радона на уровне дневной поверхности и тоже нормировалось $Rn(1.9, \max)$. Полученные относительные вариации радона грунта в диапазоне глубин 0–1.9 м показаны на рис. 2 (кривая 3).

Кривая $Rn(\text{Лам})/Rn(\max)$ имеет заметно больший разброс, нежели кривые $Rn(\text{промерзание})/Rn(\max)$ и $Rn(\text{без промерзания})/Rn(\max)$ (2 и 3 на рис. 2 соответственно), но тем не менее в большей мере подходит под расчетные оценки первого модельного приближения. Причина сильных отклонений от плавного хода расчетной кривой $Q1$ (см. рис. 1) – аномально высокие значения объемной активности радона на выбранном участке. Присутствующие в рассматриваемом диапазоне глубин случайно разбросанные вкрапления содержат аномально высокие количества материнского вещества.

Высокий молекулярный вес радона – 222 – исключает возможность его самопроизвольной субвертикальной миграции. Долгое время считалось, что в качестве газов – носителей радона в приповерхностные слои грунта и атмосферу выступают пузырьковые образования всех летучих газов почвенного воздуха [Козлова и др., 1999; Войтов и др., 2000; Гергедава и др., 2001]. Однако комплексные работы под г. Москвой, г. Калугой и в Ставропольском крае [Шулейкин, 2006; Зубарев, Шулейкин, 2009] заставили несколько изменить эти представления. В ходе экспериментов проводился одновременный отбор проб почвенного воздуха для лабораторного анализа на содержание летучих газов и оперативный контроль объемной активности радона почвенного воздуха. Совместная обработка полученных результатов показала, что концентрации азота и диоксида углерода меняются в противофазе и охвачены жесткой корреляционной связью $k(N_2; CO_2) = -0.99$ при отсутствии корреляционной связи с метаном и водородом $|k(H; N_2; CO_2)| = 0.28$ и 0.29 соответственно.

Более того, коэффициент корреляции водорода и метана очень высок – $k(H; CH_4) = 0.96$; коэффициенты корреляции между концентрациями двух последних летучих газов с объемной активностью радона тоже достаточно велики – $k(Rn; H_2) = 0.84$, $k(Rn; CH_4) = 0.89$. Незначительный спад коэффициентов корреляции с объемной активностью радона имеет понятное физическое объяснение – точность лабораторного определения концентрации водорода и метана существенно выше точности полевых измерений объемной активности радона.

Дополнительный отбор проб почвенного воздуха в Щелкове и Ставропольском крае позволил проанализировать связи между водородом и метаном на 68 парах значений [Шулейкин и др., 2008; Зубарев, Шулейкин, 2009]. Коэффициент корреляции $k(CH_4, H_2)_{68} = 0.76$ достаточно высок. Однако если рассмотреть коэффициент корреляции между логарифмами $\ln(H_2)$, $\ln(CH_4)$, то его величина возрастает – $k[\ln(H_2); \ln(CH_4)] = 0.96$. Построение линейной аппроксимации логарифмов измеренных значений содержаний водорода и метана в грунте позволяет с достоверностью $D = 0.92$ рассчитать уравнение связи исследуемых параметров

$$CH_4 = \exp[1.675 \ln(H_2) + 2.762]. \quad (1)$$

На рис. 3 построены графики измеренных и рассчитанных по выражению (1) значений содержания метана в грунте по парам 68 точечных массивов данных.

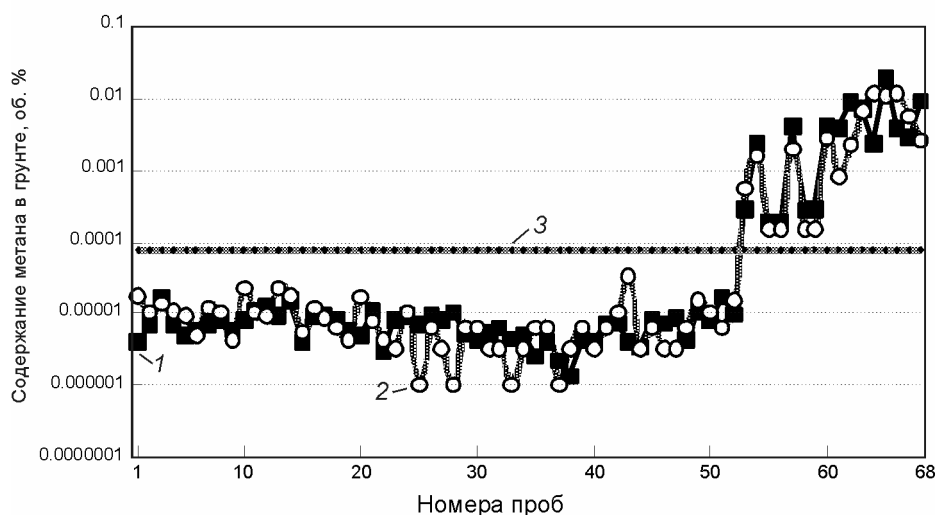


Рис. 3. Расчетные (2) и измеренные (1) значения содержания метана в грунте (68 пар точек)

Пробы: 1–52 – г. Ставрополь; 53–60 – г. Калуга; 61–68 – г. Щелково. 3 – средний мировой фоновый уровень содержания метана в грунте

Принимая во внимание диапазон перепада рассматриваемых концентраций метана – 4 порядка (10^{-6} – 10^{-2} об. %), совпадение измеренных и расчетных значений можно считать идеальным. Полевой материал, использованный при выводе выражения (1), был отобран в разное время и в разных местах; абсолютные значения концентраций водорода и метана получены разными операторами на различном лабораторном оборудовании. Это позволяет утверждать, что выведенная закономерность носит фундаментальный характер. Естественно, что выражение (1) требует дальнейшей проверки и уточнения. В частности, необходимо получение дополнительного полевого материала в диапазоне концентраций метана грунта 10^{-5} – 10^{-3} об. %.

Полученный результат позволяет утверждать, что перенос радона в приповерхностные слои грунта и приземную атмосферу осуществляется пузырьковыми образованиями только двух летучих газов – водорода и метана. Рассмотрим несколько экспериментальных доказательств высказанного предположения.

В августе 2006 г. на территории Северо-Ставропольского газохранилища на площади 20×30 км на 300 наблюдательных пикетах регистрировались объемные активности радона грунта и атмосферы. На 28 пикетах с максимальными и минимальными отношениями радона грунта и радона атмосферы параллельно были отобраны образцы почвенного воздуха для определения содержания метана и водорода.

Погодные условия не благоприятствовали проведению измерений. Засуха августа 2006 г. привела к сильному растрескиванию грунта. Наличие глубоких трещин (до 50–60 см) резко увеличило площадь воздухообмена почва–атмосфера, т.е. увеличила плотность эксхалирующего почвенного радона – среднее значение $Rn(a) = 0.49$ Бк/л. Пробы почвенного радона отбирались с островков грунта площадью ~ 0.5 м², ограниченных трещинами, среднее значение составило 4.04 Бк/л.

Наблюдения повторялись в июне 2007 г. в нормальных погодных условиях, но уже на 500 наблюдательных пикетах с параллельным отбором проб на 24 пикетах. Зарегистрированные средние значения радона атмосферы и грунта: $Rn(a) = 0.46$ Бк/л, $Rn = 1.07$ Бк/л. По данным лабораторного анализа 52 образцов почвенного воздуха за-

регистрированные концентрации почвенного метана варьировали в пределах 10^{-6} – 10^{-5} об. %.

Результаты измерений 2006 и 2007 гг. объединялись, и оценивалась степень участия двух летучих газов в транспорте радона – 15 % радона переносилась пузырьковыми образованиями метана, 85 % – пузырьковыми образованиями водорода. Для введенного соотношения водорода и метана в переносе радона рассчитывалась рабочая формула, связывающая радон грунта и атмосферы и два летучих газа. Дополнительный эксперимент, проведенный на 28 наблюдательных пикетах, позволил оценить работу рассматриваемого модельного приближения.

На рис. 4 приведены кривые измеренных и расчетных значений объемной активности радона атмосферы, рассчитанные для трех случаев: 15 % радона переносится метаном, 85 % – водородом; 100 % радона переносится метаном; 100 % радона переносится водородом. Для удобства сравнения кривые $Rn(a;CH_4)$ (2) и $Rn(a;H_2)$ (3) на рис. 4, б даны со сдвигом ± 0.2 Бк/л.

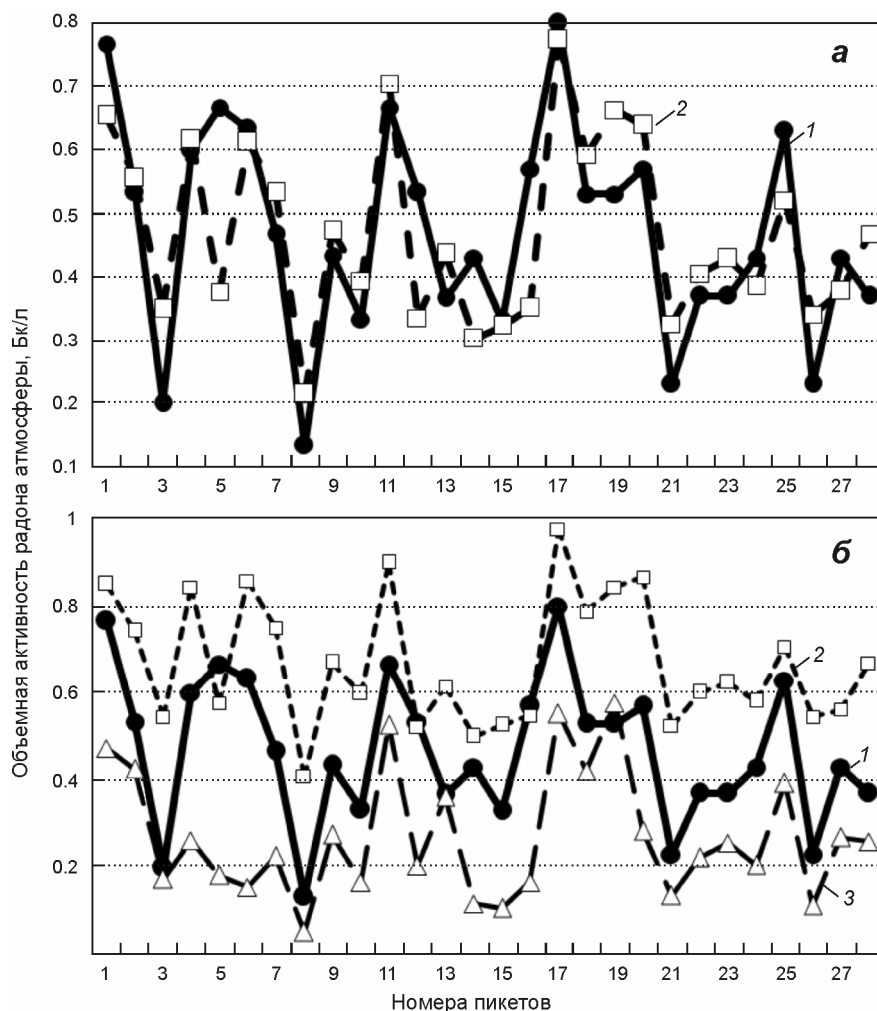


Рис. 4. Измеренные (1) и расчетные (2, 3) значения объемной активности радона атмосферы для трех случаев транспорта радона

2 (рис. 4, а) – 15 % радона переносится метаном, 85% – водородом [$Rn(a;0.15CH_4;0.85H_2)$];
2 (рис. 4, б) – 100 % радона переносится метаном [$Rn(a;CH_4)+0.2$]; 3 (рис. 4, б) – 100 % радона переносится водородом [$Rn(a;H_2)-0.2$]

Коэффициенты корреляции измеренных и расчетных значений радона атмосферы $k[\text{Rn}(a);\text{Rn}(a;0.15\text{CH}_4;0.85\text{H}_2)] = 0.84$; $k[\text{Rn}(a);\text{Rn}(a;\text{CH}_4)] = 0.69$; $k[\text{Rn}(a);\text{Rn}(a;\text{H}_2)] = 0.81$. В рассматриваемом диапазоне вариаций концентраций метана пузырьковые образования водорода, очевидно, доминируют в переносе радона. Как следствие, 85 % транспорта радона осуществляется водородом. Коэффициент корреляции $k[\text{Rn}(a);\text{Rn}(a;\text{H}_2)]$ заметно ближе к $k[\text{Rn}(a);\text{Rn}(a;0.15\text{CH}_4;0.85\text{H}_2)]$.

В сентябре 2009 г. эксперимент повторялся в условиях больших концентраций метана грунта – 10^{-3} – 10^{-2} об. %. Работы выполнялись на территории куста 20 нагнетательных скважин на площади ~ 500×500 м Касимовского газохранилища. Было обследовано 160 пикетов на территории нагнетательных скважин и 16 пикетов на профиле, удаленном от основной площади наблюдений на ~ 2 км. По максимальным и минимальным отношениям радона грунта и радона атмосферы было отобрано 22 наблюдательных пикета, на которых измерения проводились повторно с параллельным отбором образцов почвенного воздуха для лабораторного анализа на содержание метана и водорода.

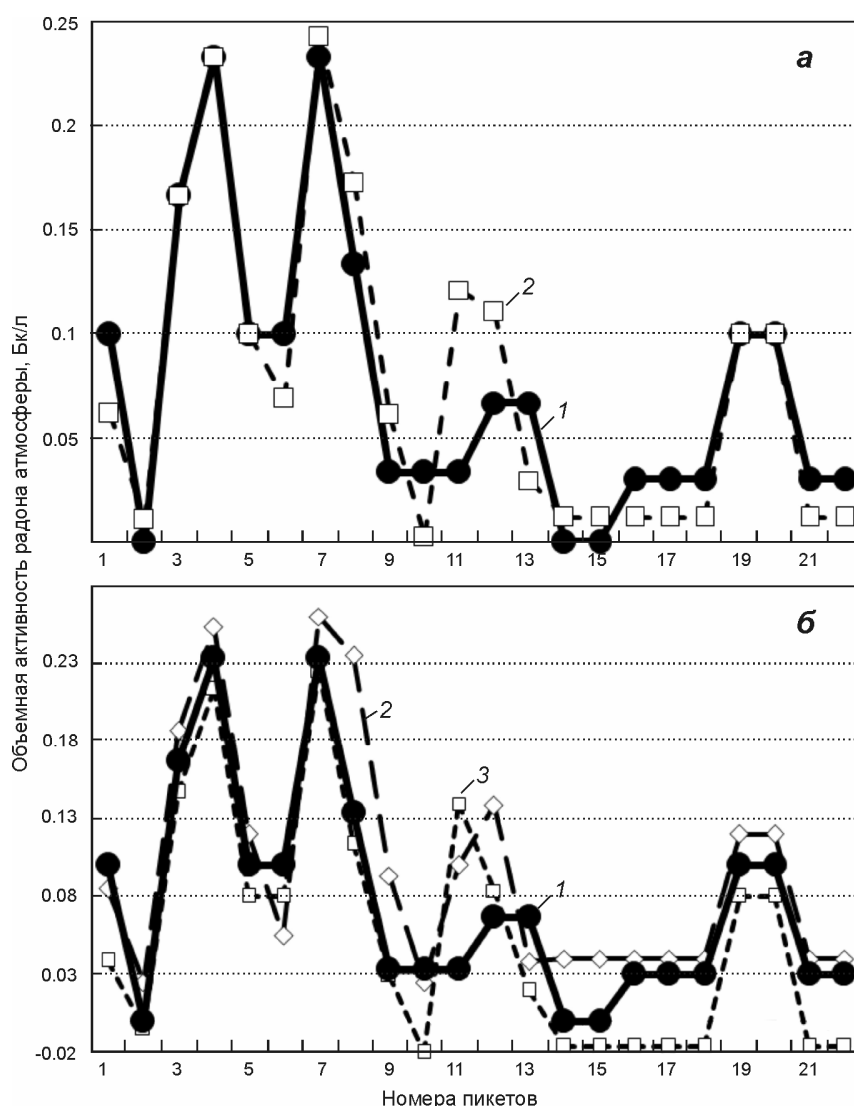


Рис. 5. Измеренные (1) и расчетные (2, 3) значения объемной активности радона атмосферы для трех случаев транспорта радона

2 (рис. 5, а) – 52 % радона переносится метаном, 48 % – водородом $[\text{Rn}(a;0.52\text{CH}_4;0.48\text{H}_2)]$; 2 (рис. 5, б) – 100 % радона переносится водородом $[\text{Rn}(a;\text{H}_2)+0.5]$; 3 (рис. 5, б) – 100 % радона переносится метаном $[\text{Rn}(a;\text{CH}_4)-0.2]$

Анализ полученных результатов позволил установить, что в рассматриваемом случае 52 % радона переносится пузырьковыми образованиями метана и 48 % – пузырьковыми образованиями водорода. Введенные рабочие формулы позволили сравнить измеренные и расчетные значения объемной активности радона атмосферы для трех случаев: 52 % радона переносится метаном, 48 % – водородом; 100 % радона переносится метаном; 100 % радона переносится водородом (рис. 5). Для удобства сравнения кривые $Rn(a;CH_4)$ и $Rn(a;H_2)$ на рис. 5, б даны со сдвигом ± 0.2 Бк/л.

Коэффициенты корреляции измеренных и расчетных значений радона атмосферы $k[Rn(a);Rn(a;0.52CH_4;0.48H_2)] = 0.92$; $k[Rn(a);Rn(a;CH_4)] = 0.89$; $k[Rn(a);Rn(a;H_2)] = 0.90$. В рассматриваемом диапазоне вариаций концентраций метана участие пузырьковых образований водорода и метана сравнимо между собой. Следствие этого – сравнимость коэффициентов корреляции $k[Rn(a);Rn(a;H_2)]$; $k[Rn(a);Rn(a;CH_4)]$ и $k[Rn(a);Rn(a;0.52CH_4;0.48H_2)]$.

Выводы

Полученные в ходе экспериментов материалы позволяют сделать ряд заключений.

1. Радон, распределенный в грунте на глубине до 2 м и поступающий в приземную атмосферу, является продуктом распада материнского вещества, вкрапления которого случайно разбросаны в геологической среде. Его поведение ближе всего описывается моделью бесконечного однородного пласта, выходящего на дневную поверхность.

2. Анализ результатов экспериментальных наблюдений позволяет утверждать, что перенос радона в приповерхностные слои грунта и атмосферу осуществляется пузырьковыми образованиями двух летучих газов – водорода и метана.

3. Проверка этого утверждения, проведенная на территории Северо-Ставропольского ПХГ в диапазоне концентраций метана грунта 10^{-6} – 10^{-5} об. %, показала, что коэффициент корреляции измеренных и расчетных объемных концентраций радона атмосферы $k[Rn(a);Rn(a;0.15CH_4;0.85H_2)] = 0.84$. Проверка, выполненная на территории Касимовского ПХГ в диапазоне концентраций метана 10^{-3} – 10^{-2} об. %, привела к коэффициенту корреляции измеренных и расчетных значений объемной активности радона атмосферы $k[Rn(a);Rn(a;0.52CH_4;0.48H_2)] = 0.92$.

Литература

- Баранов В.И. Радиометрия. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 343 с.
- Войтов Г.И., Гусев А.С., Шулейкин В.Н. и др. Эманационные (водород-радоновые) и электрические эффекты над сложнопостроенными тектоническими структурами (на примере Александровской зоны предразломных поднятий, Белоруссия) // Докл. РАН. 2000. Т. 370, № 1. С. 105–108.
- Гергедава Ш.К., Бузинов С.Н., Шулейкин В.Н., Рудаков В.П., Войтов Г.И. Нетрадиционная геофизика для подземных хранилищ газа // Нефть, газ и бизнес. 2001. №5 (43). С. 2–6.
- Зайцев В.В., Роголис В.С., Кузьмич С.Г. Исследования влияния временных условий на потоки радона на строительных площадках // АНРИ. 2008. № 2. С. 34–36.
- Зубарев А.П., Шулейкин В.Н. Комплексный геофизический и геохимический контроль при эксплуатации подземных газохранилищ. М.: Изд-во ООО «Газпром ПХГ», 2009. 264 с.
- Козлова Н.С., Рудаков В.П., Шулейкин В.Н., Войтов Г.И., Баранова Л.В. Эманационные и электрические эффекты в атмосфере подпочв над Калужской импактной кольцевой структурой // Рос. журн. наук о Земле. 1999. Т. 1, № 6. С. 503–510.

- Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1976. 255 с.
- Микляев П.С., Петрова Т.Б. Механизмы формирования потока радона с поверхности почв и подходы к оценке радоноопасности селитебных территорий // АНРИ. 2007. № 2. С. 2–16.
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1.799-99. М.: Минздрав России, 2000. 98 с.
- Павлов И.В. Математическая модель процесса эксгаляции радона с поверхности земли и критерии потенциальной радоноопасности территорий застройки // АНРИ. 1998. № 5. С. 15–26.
- Сисигина Т.И. Измерения эксгаляции радона с поверхности горных пород // Вопросы ядерной метеорологии. М.: Госатомиздат, 1962. С. 104–111.
- Сисигина Т.И. Эксгаляция радона с поверхности нескольких типов почв Европейской части СССР и Казахстана // Радиоактивные изотопы в атмосфере и их использование в метеорологии. М.: Атомиздат, 1965. С. 40–48.
- Стыро Б.И. Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс, 1959. 418 с.
- Стыро Б.И. Самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений. Л.: Гидрометиздат, 1968. 290 с.
- Шулейкин В.Н. Атмосферное электричество и физика Земли. М.: ООО «ФЭД», 2006. 159 с.
- Шулейкин В.Н., Резниченко А.П., Пуцина Л.В. О связях метана водорода и радона почвенного воздуха // Материалы Всерос. конф. «Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы». М., 2008. С. 544–546.

Сведения об авторе

ШУЛЕЙКИН Владимир Николаевич – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН. 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел.: (499) 135-73-71. E-mail: shvn1947@yandex.ru

RADON TRANSFER TO NEAR-SURFACE LAYERS OF EARTH AND THE GROUND ATMOSPHERE

V.N. Shuleikin

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Results of radon observation up to the depth of 2 m are presented. A model of radon transfer from interior to near-surface layers of the earth and the ground atmosphere by hydrogen and methane bubble formations is offered. The model verification is made at the soil methane concentration 10^{-6} – 10^{-5} vol. % and 10^{-3} – 10^{-2} vol. %

Keywords: radon, transfer, ground, atmosphere, hydrogen, methane.