

Сравнение эффективности диффузионного и адвективного способов доставки почвенного радона к детектору при мониторинговых наблюдениях в геологической среде

Проведены измерения объемной активности почвенного радона (ОАР) в одинаковых геологических и петрофизических условиях, при разных способах доставки радона к детектору. Показано, что измеряемая величина ОАР при адвективном способе доставки радона к детектору почти в 3 раза больше, чем при диффузионном. Рассчитанные коэффициенты вариации при адвективном режиме меньше, чем при диффузионном способе в 2 раза. Полученные на экспериментальном полигоне результаты показали определяющее влияние на величину ОАР изменений температуры в зоне проникновения суточной температурной волны. На основе выполненных исследований показана предпочтительность применения адвективного способа доставки радона к детектору при мониторинговых наблюдениях в верхней части геологического разреза.

**А.К.Юрков, С.В.Бирюлин,
Е.Н.Рыбаков, И.А.Козлова**

(Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург)

В настоящее время длительные мониторинговые наблюдения почвенного радона применяются преимущественно при изучении природных и техногенных процессов, происходящих в геологической среде. К ним относятся землетрясения, горные удары, оползни и обвалы. Эффективное и широкое применение радона в качестве индикатора изменения проницаемости природной среды обусловлено наличием источника его постоянной генерации и отсутствием накопительного эффекта по сравнению с другими составляющими подземной атмосферы. Эти обстоятельства позволяют проводить непрерывный информативный мониторинг радона при исследовании изменения проницаемости геологической среды. Из российских и

Ключевые слова:

диффузия, адвекция, радон, мониторинг, температура, влажность, атмосферное давление, коэффициент вариации.

зарубежных публикаций известно, что в большинстве случаев при измерениях объемной активности радона (ОАР) для доставки почвенного радона к измерительному прибору применяют диффузионный способ [1-3]. При этом способе создается полость в исследуемой среде, в которую помещается детектор радона. Создание полости приводит к ряду неблагоприятных эффектов. Во-первых, локально искажается существующее напряженно-деформированное состояние геологической среды. Во-вторых, исходя из вертикального распределения ОАР, измеряемая объемная активность зависит от объема и глубины созданной полости. Так, например, при измерениях, выполненных на полигоне Института геофизики УрО РАН, в полостях объемом 0,054 м³ и 0,012 м³ ОАР составила 690 Бк/м³ и 1975 Бк/м³ соответственно. В-третьих, изменения ОАР в полости будут происходить медленнее, учитывая ее объем, незначительную скорость диффузионного поступления радона и его период полураспада по сравнению с неискаженной средой. При этом нужно иметь в виду, что радон поступает из небольшого объема горных пород, окружающих полость. Наличие полости обуславливает хорошую связь с атмосферой, что приводит к существенному влиянию на величину ОАР метеорологических факторов, таких как атмосферное давление, влажность и температура. Указанные недостатки диффузионного способа доставки радона к детектору существенно снижают его эффективность и надежность полученной информации об изменениях проницаемости геологической среды (особенно короткопериодных) при изучении природных процессов. Тем не менее, при мониторинговых исследованиях диффузионный способ доставки радона к детектору по-прежнему достаточно широко используется.

В данной работе авторы сравнивают эффективность применения диффузионного и адвек-

тивного способов доставки радона к детектору при одновременных измерениях в одинаковых геологических условиях. Все измерения проводились с использованием приборов Sirad, Radex107 и Radex107+. На станциях Коуровка и Усть-Катав приборы работали в условиях, когда температура опускалась до небольших отрицательных значений, относительная влажность достигала 95%. При этих значениях приборы сохраняли свою работоспособность без видимых ухудшений метрологических характеристик. Надежность используемых приборов можно проиллюстрировать тем, что на станции Южно-Курильск мониторинг детектором Sirad непрерывно ведется в течение 12 лет. Приборы обычно работают от сети, емкости встроенных аккумуляторов надежно хватает на 5 суток. При диффузионных измерениях детектор радона (RADEX MR107+) помещался в полость, объем которой составлял несколько кубических дециметров, созданную в среде на глубине первых десятков сантиметров, то есть она находилась в зоне существенного влияния метеофакторов и в наиболее градиентной части кривой изменения ОАР с глубиной. По полученным результатам измерений хорошо прослеживается зависимость ОАР от изменения температуры и влажности. Исследовать влияние вариаций атмосферного давления при этом не удалось из-за их малых изменений. На рис.1 приведен фрагмент записи вариаций объемной активности радона (ОАР) на разных глубинах при диффузионном режиме. Хорошо отмечается разница в величинах ОАР, хотя в вариативности кривых визуально не отмечается существенного различия. Разница проявляется только в величинах коэффициента вариации. Для количественного анализа полученных данных выполнялось сравнение статистических параметров (коэффициентов вариации) для каждой из выборок наблюдаемых значений ОАР. Коэффициент вариации характеризует откло-

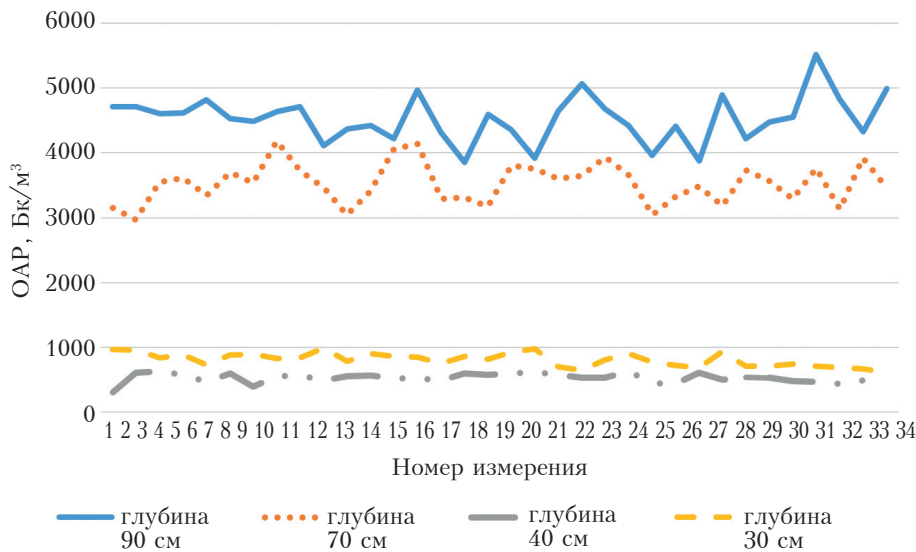


Рис.1. Фрагмент записи кривой ОАР, полученный при измерениях в диффузионном режиме на разных глубинах.

нение значений от среднего уровня. В данном случае предпочтительнее использовать этот параметр, так как абсолютные значения ОАР при измерениях разными способами значительно отличаются. Чем ниже коэффициент вариации, тем более однородной является выборка. Соответственно, в случае возникновения аномалии ОАР выше вероятность ее выделения.

Рассчитанные коэффициенты вариации для разных глубин: 30 см – 0,13; 40 см – 0,13; 70 см – 0,09; 90 см – 0,08. Для выборок ОАР, полученных при измерениях с глубин 30 см и 40 см, коэффициенты вариации имеют близкие значения. При увеличении глубины измерений наблюдается уменьшение величины коэффициента вариации, что подтверждает уменьшение влияния метеофакторов с глубиной.

При диффузионных измерениях не всегда удается получить ясную картину взаимосвязи параметров из-за влияния объема полости, практически неизменной влажности и изменений температуры согласно суточной температурной волне. Так как температура и относительная влажность находятся в противофазе относительно друг друга, то разделить степень их влияния на величину ОАР достаточно сложно. Повышение температуры приводит

к увеличению ОАР как за счет увеличения скорости диффузии радона из среды, так и из-за уменьшения плотности воздуха в детекторе. Уменьшение влажности также может влиять на увеличение величины ОАР за счет уменьшения плотности воздуха в детекторе и увеличения скорости диффузии в среде.

Влияние температуры и влажности нагляднее рассматривать при измерениях в адвективном режиме, позволяющем регистрировать короткопериодные вариации исследуемых параметров. Адвективный способ доставки радона к детектору начал применяться при изучении процесса подготовки горных ударов на шахтах Средне-Уральского бокситового рудника с конца восьмидесятых годов прошлого века [4]. В настоящее время все мониторинговые наблюдения на радоновых станциях Института геофизики УрО РАН проводятся в адвективном режиме. Особенность данного способа состоит в принудительном извлечении и доставке почвенного радона к детектору (откачке почвенного воздуха) с помощью воздушного насоса через зонд с перфорацией на нижнем конце с глубины не менее 70 см. Применение указанного способа доставки радона к детектору позволило существенно увеличить информативный объем исследуемых горных

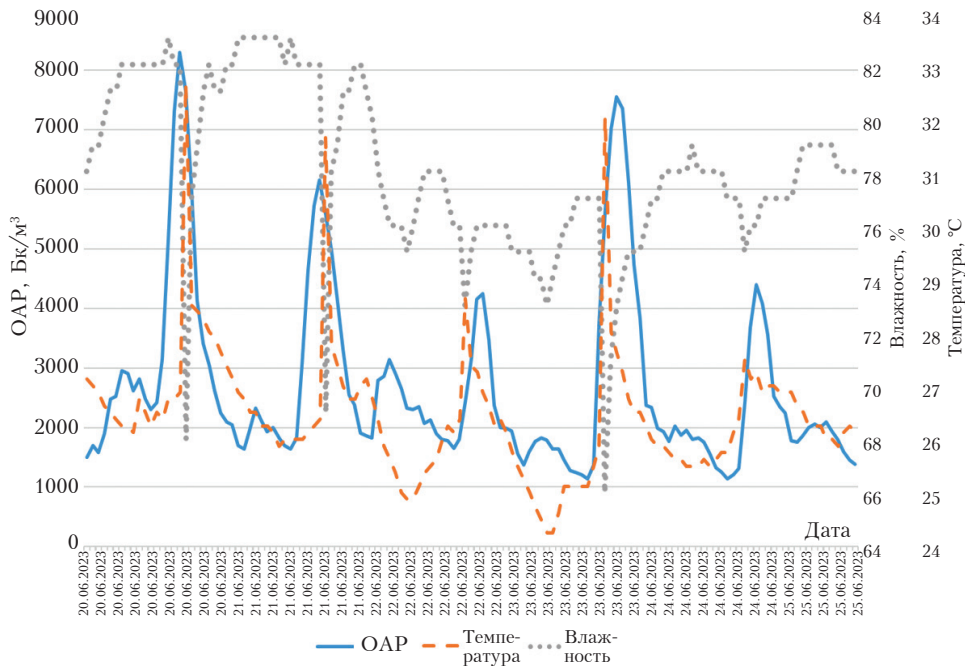


Рис. 2. Фрагмент записи ОАР, температуры и влажности на экспериментальном полигоне.

пород, из которых извлекается радон. Небольшой диаметр (8–10 мм) применяемого зонда не искажает существующее напряженно-деформированное состояние среды. На глубине 70 см практически отсутствует влияние изменений атмосферного давления, температура среды остается постоянной (суточная волна температуры проникает на глубину в пределах 25–30 см), влажность практически не меняется (если над зондом сделать крышу для устранения влияния дождевых осадков), измерительный прибор с насосом можно разместить в удобном месте, регулируя длину гибкого шланга от зонда.

На рис. 2 представлен фрагмент записи температуры, влажности и объемной активности радона, полученных прибором RADEX MR107+ на экспериментальном полигоне при глубине зонда 20 см.

На фрагменте записи, благодаря высоким значениям ОАР, на небольшой глубине наглядно отмечается взаимосвязь с вариациями метеопараметров. Отчетливо видны суточные вариации ОАР, температуры и влажности. По характеру изменения относительной влажности видно, что массовая доля паров воды

в поровом воздухе остается почти неизменной. Изменяется только температура атмосферного воздуха (и среды, из которой он откачивается), за счет этого изменяется и величина относительной влажности. Так как массовая доля паров воды практически не изменяется, то суточные вариации ОАР связаны только с изменениями температуры. Приведенные результаты показывают, что проводить измерения в зоне влияния суточной температурной волны, то есть там, где обычно располагается детектор при диффузионных измерениях, малоинформативно. При таких суточных колебаниях ОАР за счет температурных вариаций очень сложно выделить аномалии, связанные с вариациями напряженного состояния среды.

Сравним особенности вариаций объемной активности радона (ОАР) при диффузионном и адвективном способах доставки радона к индикатору в эксперименте с одновременными измерениями почвенного радона практически в одной точке. Диффузионные измерения проводились в шурфах размером 20×20×30 см. Сверху шурф закрывался слоем вынутаго грунта (рис. 3). Измерения в адвективном

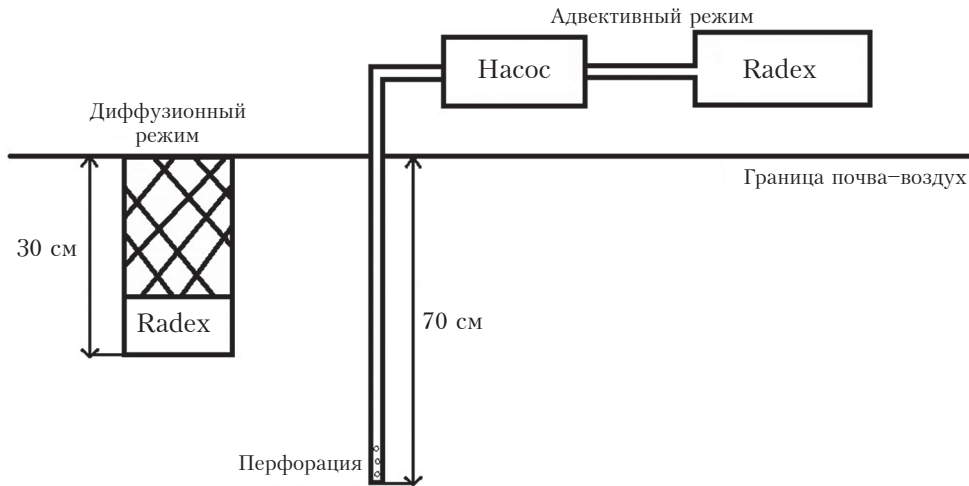


Рис.3. Схема проведения измерений ОАР в диффузионном и адвективном режимах.



Рис.4. Фрагмент записи ОАР, полученный в закрытом помещении (подвал Института геофизики).

режиме выполнялись прибором Radex107+ с небольшими конструктивными доработками. Для подачи почвенного воздуха из зонда с помощью воздушного насоса одно из диффузионных окон прибора закрывалось крышкой со штуцером, второе окно герметизировалось. Выход поступающего почвенного воздуха происходил через негерметичные соединения в корпусе прибора. Зонд представляет собой металлическую трубку диаметром 10 мм с перфорацией на нижнем конце. Зонд герметично заглублялся на 70 см в почву (рис.5).

Приведены результаты наблюдений в подвале Института геофизики УрО РАН (рис.4) и на открытом радоновом полигоне на территории Института (рис.5).

Визуально, по рис. 4 и 5 по кривым ОАР, полученным при адвективном и диффузионном способах, явно не видна различная вариативность, наглядно отмечается только разница в измеряемой величине. Рассчитанные коэффициенты вариаций для диффузионного и адвективного способов составили соответственно 0,115 и 0,099 (при измерениях в подвале) и 0,126 и 0,066 (при измерениях на открытом полигоне). Измеряемая величина ОАР при адвективным способе доставки радона к детектору превышает почти в 3 раза величину ОАР при диффузионном способе.

Для закрытых условий измерения, когда влажность и температура практически не меняются, коэффициенты вариации ОАР

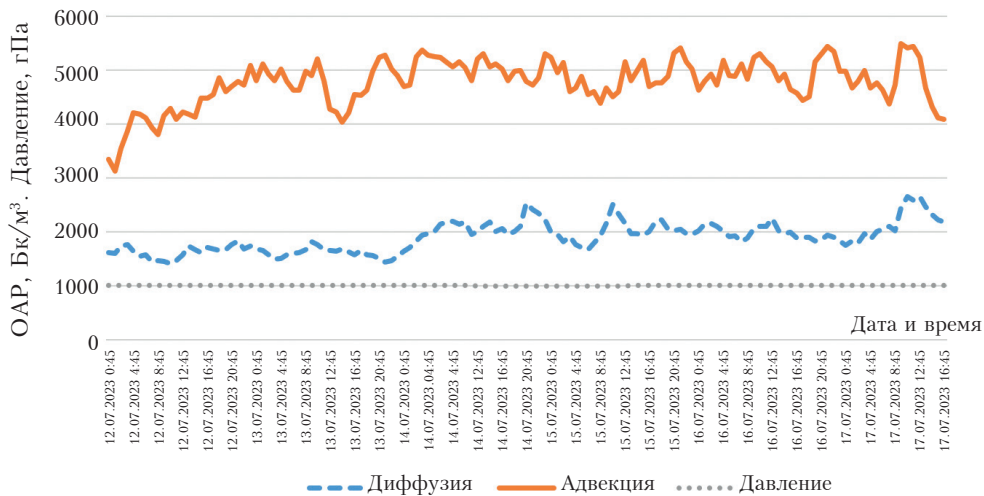


Рис. 5.
Фрагмент записи ОАР на открытом полигоне.

при применении адвективного и диффузионного режимов близки друг к другу. Для условий открытого полигона коэффициент вариаций для адвективного режима в 2 раза меньше, чем для диффузионного.

Выводы

Выполненные исследования показали, что адвективный режим при мониторинговых измерениях более предпочтителен как с точки зрения меньшей зависимости от вариаций метеопараметров, так и от возможности получения более информативных данных за счет увеличения эффективного объема анализируемой среды. Быстрая скорость доставки почвенного радона

к детектору дает возможность изучать короткопериодные изменения проницаемости геологической среды, что имеет большое значение при изучении процессов подготовки землетрясений и горных ударов. Меньшие значения коэффициента вариации при адвективном способе доставки радона к детектору позволяют рассчитывать на более надежное выделение аномалии ОАР, связанной с изменением проницаемости геологической среды. С точки зрения организации наблюдений в природной среде адвективный режим более удобен в плане выбора места расположения детектора радона и точки забора почвенного воздуха, так как они могут быть разнесены на необходимые расстояния.

Литература

1. Фирстов П.П., Макаров Е.О. Динамика подпочвенного радона на Камчатке и сильные землетрясения. Монография. 2018. 148 с.
2. G.G. Giuliani et al. Radon observations by gamma detectors PM-4 and PM-2 during the seismic period (January–April 2009) in L'Aquila Basin. Abstr. AGU Fall Meeting, December 14–18, San-Francisco 1. 2009. P. 3.
3. C.Y. King, B.S. King, W.S. Evans, W. Zhang, «Spatial radon anomalies on active faults in California», *Applied Geochemistry*, vol. 11, pp. 497-510, 1996.
4. Булашевич Ю.П., Уткин В.И., Юрков А.К., Николаев В.Н. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах. Доклады РАН. 1996. Т. 345. № 2. С. 245-248.
5. Козлова И.А., Юрков А.К. Методические вопросы измерения содержания радона-222 в почвенном воздухе при мониторинговых наблюдениях // Уральский геофизический вестник. 2005. № 1. С. 30-34.

Diffusion and Convective Methods Efficiency Comparison of Delivering Soil Radon to the Detector During Monitoring Observations in the Geological Environment

Yurkov Anatoliy, Biryulin Sergey, Rybakov Evgeniy, Kozlova Irina (Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg, Russia)

Abstract. The volume radon activity (VRA) was measured under the same geological and petrophysical conditions, with different radon delivery methods to the detector. It is shown that the measured value of VRA in the advective method of radon delivery to the detector is almost 3 times greater than in the diffusion method. The calculated coefficients of variation in the advective mode are 2 times less than in the diffusion method. The results obtained at the experimental test site showed a decisive influence on the value of the VRA of temperature changes in the zone of penetration of the daily temperature wave. Based on the performed studies, the preference for using an effective method of delivering radon to the detector during monitoring observations in the upper part of the geological section is shown.

Key words: *diffusion, advection, radon, monitoring, temperature, humidity, atmospheric pressure, coefficient of variation.*

*А.К.Юрков (к.г.-м.н., зав.лаб.), С.В.Бирюлин (м.н.с.), Е.Н.Рыбаков (к.т.н., н.с.),
И.А.Козлова (к.г.-м.н., врио директора) – Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург.
Контакты: тел. +7 (343) 267-95-19; e-mail: akjurkov@mail.ru.*