



DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.25.36.008

УДК 613.648

© Р. Н. Апки́н, Э. Р. Утя́кова, 2024

Р. Н. АПКИ́Н

канд. географ. наук, доцент
доцент кафедры
КГЭУ, г. Казань
e-mail: renat.apkin@gmail.com

Э. Р. УТЯ́КОВА

студент
КГЭУ, г. Казань e-mail: eva24999@mail.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА ЭКСХАЛЯЦИЮ РАДОНА: КОНКРЕТНЫЙ ПРИМЕР

Радон (^{222}Rn) — радиоактивный газ без цвета и запаха, тяжелее воздуха в семь раз, его период полураспада равен 3,825 дня. При определённых условиях, когда происходит аккумуляция радона и его дочернего продукта распада торона в жилых помещениях, они представляют большую опасность для населения. Установлено, что до половины годовой индивидуальной дозы облучения от естественных источников радиации человек получает именно от этих газов. По данным Научного Комитета по действию атомной радиации ООН, примерно 20 % общего количества заболеваний раком лёгких у населения вызвано вдыханием содержащего радон воздуха. В настоящей статье приводятся данные измерений объемной активности радона в почвенном воздухе. Проведен анализ результатов измерений и дана оценка особенности эксхалляции радона из грунта.

Ключевые слова: РАДОН, ИЗЛУЧЕНИЕ, ОБЪЕМНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДОНА, ЭКСХАЛЯЦИЯ, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

ВВЕДЕНИЕ

Риск высокого радиоактивного воздействия, в понимании большинства, чаще всего связан с вредоносным техногенным и — шире — антропогенным вмешательством в природу: повреждением конструкций АЭС, несоблюдением правил обращения с радиоактивными веществами и иными чрезвычайными обстоятельствами. Однако зачастую мы оставляем без внимания те вещества, которые создают естественную радиацию, также чрезвычайно опасную для здоровья людей.

Одно из этих веществ — радон: радиоактивный одноатомный бесцветный газ без запаха и вкуса. Все изотопы радона радиоактивны

и достаточно за короткое время распадаются. Наиболее устойчивый из них изотоп Rn (222), период полураспада которого составляет около 3,8 суток, второй по устойчивости — торон Rn (220) — 55,6 секунд. При определённых условиях, когда происходит аккумуляция радона и торона в жилых помещениях, они представляют большую опасность для населения. Установлено, что примерно половину годовой индивидуальной дозы облучения от естественных источников радиации человек получает именно от этих газов.

Данное вещество представляет источник альфа-излучения, имеющего низкое проникающее свойство. Защитой от альфа-частиц

может быть обычный лист бумаги или кожа человека. Но в основном люди получают значительную дозу радионуклидов, которые попадают в организм со вдыхаемым воздухом. Когда люди дышат, данные элементы оседают на клетках эпителия дыхательных путей, и высокое содержание радона в воздухе может привести к нарушению ДНК клеток, а также привести к развитию рака легких [1].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В приземном слое атмосферы влияние радона и его продуктов распада на здоровье населения значительно, поскольку основным источником их выделения является почва. Поэтому изучение процесса перехода радона из литосферы в атмосферу представляет особый научный интерес.

Выход радона из земной коры происходит практически на всей поверхности Земли, но с различными значениями как в пространстве, так и во времени. Распределение радона в литосфере зависит от наличия и мощности источника его образования. Являясь продуктом распада радия, который, в свою очередь, образуется в процессе распада урана-238, радон и его дочерний продукт торон присутствуют в любом горном массиве, но в разных концентрациях. Поступление радона из литосферы в атмосферу идет постоянно, а уменьшение его концентрации как за счёт распада, так и за счёт миграции, компенсируется новым поступлением от источника [2].

Макроскопический коэффициент диффузии, определяющий миграцию радона в горном массиве, а также его выход с поверхности почвы, зависит от многих факторов. Основная роль принадлежит пористости, проницаемости и трещиноватости. Конвективный перенос радона газовыми струями может осуществляться с глубины до 200 м при условии трещиноватости верхней части массива.

В процессе выделения радона из природных объектов в окружающую среду, в основном из почвы, различают два следующих друг за другом этапа. На первом этапе радон выделяется из кристаллической решетки материала в поры почвы, т.е. эманурует.

Это выделение обусловлено энергией отдачи, приобретаемой атомами в результате альфа-распада, а также процессами диффузии и адсорбции атомов радона. На втором этапе радон распространяется за счет диффузии через поры и микротрещины материала, выделяясь в окружающую среду при испарении, выходе с поверхности, обмене почвенного и атмосферного воздуха.

Термин «эманация» применяется для обозначения процесса выделения радона из тел малых размеров; в нашем случае — из кристаллической решетки твердого материала в поры почвы. Когда же речь идет о выделении радона из обширных геологических структур, т.е. горных пород, почвы, водных поверхностей морей и океанов, в приземный слой атмосферы, — вместо термина эманация употребляется термин «эксхалация».

ГИПОТЕЗА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование зависимости эксхалации радона от метеофакторов является непростой задачей, поскольку атмосфера очень динамичная среда, и метеорологические показатели могут быстро меняться за короткий промежуток времени. Если поступление радона в поры почвы за счет эффекта отдачи определяется энергией распада исходного нуклида, или величиной внутренней поверхности пор, или сложным рельефом пор, или также влагонасыщенностью пор почвы, так что она не определяется температурой, то выделение радона сильно зависит от перепада давления, скорости ветра, температуры и влажности атмосферы [3].

МЕТОДОЛОГИЯ

В самом общем смысле, мы используем общелогический подход, включающий анализ и синтез, индукцию, дедукцию и абдукцию, а также общенаучные способы познания, в первую очередь, наблюдение, измерение, сравнение. Наиболее продуктивной в нашем случае необходимо принять именно абдукцию, поскольку она включает генерацию гипотез и их оценку. «Абдукция играет роль генератора новых идей или гипотез; функции

дедукции состоят в оценке гипотез; индукция оправдывает гипотезы эмпирическими данными» [4].

ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В нашей работе все замеры с одновременной фиксацией значения радона в процессе его эксхалляции и метеорологическими характеристиками в приземном слое атмосферы проводились в течение двух суток.

В процессе измерений применялся прибор RTM 1688–2 Geo Station, производства фирмы SARAD GmbH (Германия). Прибор предназначен для измерения объемной активности радона (ОАР). Работа данного прибора основана на полупроводниковом методе измерения в сочетании с электростатическим осаждением продуктов распада радона на детектор.

Для измерения ОАР в почвенном воздухе в комплект прибора входит специальный зонд (рис. 1), который опускается в скважину на выбранную глубину. Корпус зонда стальной, диаметр его составляет 80 мм. Зонд подключается к прибору через кабель длиной 6 метров к датчику. Этот датчик рассчитывает текущую концентрацию радона и выдает на выходе сигнал [5].



Рис. 1. Зонд (Radon Soil Gas Probe)

Прибор, кроме концентрации радона, регистрирует значения концентрации торона, атмосферного давления, температуру и относительную влажность среды. Благодаря высокой чувствительности и альфа спектроскопическому анализу, время реакции прибора близко к физическому пределу, даже в случае низких концентраций радона. Для работы с прибором существует специальная компьютерная программа Radon Vision Software, которая позволяет настраивать режим измерений и обрабатывать полученные данные (рис. 2).

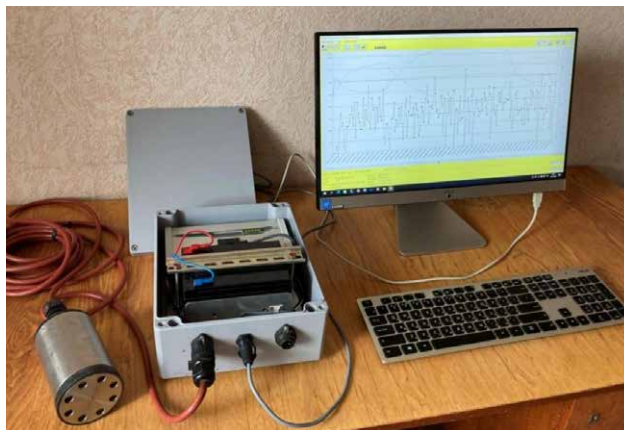


Рис. 2. Прибор RTM 1688–2 Geo Station с подключенным зондом и компьютерной программой Radon Vision Software

С целью выявления особенностей эксхалляции радона авторами летом 2022 г были проведены инструментальные исследования ОАР в почвенном воздухе на точке около населенного пункта Кояново Пермского края. Местность, на которой проводилась работа, представляет собой склон южной экспозиции с уклоном около 10°; в геологическом отношении — это песчаники пермского периода, перекрытые делювиальными отложениями со слабо развитым почвенным слоем.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С помощью прибора RTM 1688–2 Geo Station на выбранной точке были проведены замеры ОАР на поверхности почвы и в пробуренной скважине, которая последовательно углублялась до отметок 0,3 м, 0,5 м и 0,8 м. Во время измерений прибор работал в автоматическом режиме, значения параметров фиксировались через каждые 10 минут в течение двух суток на каждом уровне (глубине).

Исследования показали, что средние значения объемной активности радона с глубиной грунта возрастают. Зависимость объемной активности радона от глубины замера показана на рис. 3.

На поверхности грунта или на границе перехода радона из почвенного воздуха в приземный слой атмосферы на изменение его значения оказывают влияние практически все метеорологические факторы. Поэтому трудно

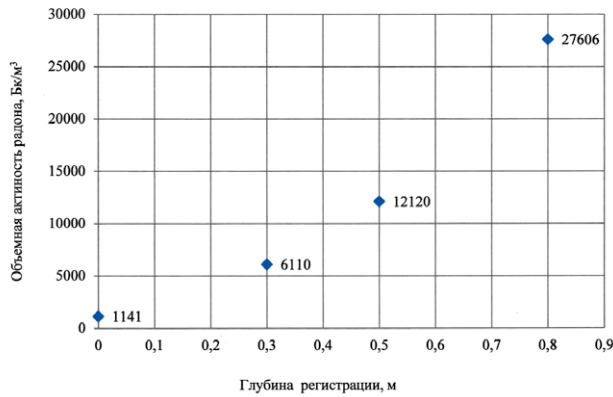


Рис. 3. Зависимость объемной активности радона от глубины грунта

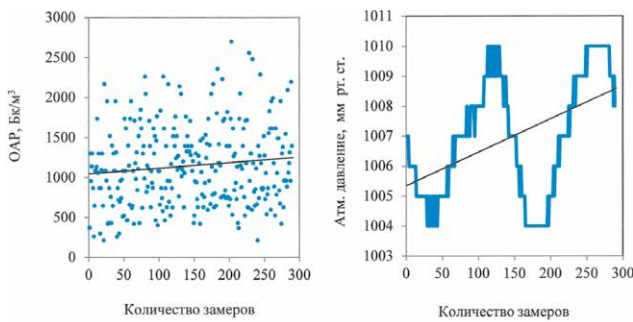


Рис. 4. Динамика значений радона и атмосферного давления на поверхности грунта

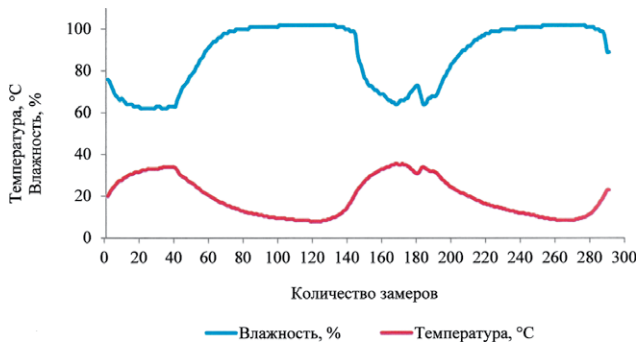


Рис. 5. Динамика значений температуры и относительной влажности воздуха в приземном слое атмосферы

определить ведущий фактор, влияющий на экскаляцию радона.

Например, в нашем случае, при сравнении динамики изменения ОАР и атмосферного давления в течение двух суток наблюдается прямая зависимость экскаляции от колебаний давления. Это хорошо видно по линиям трендов изменения значений радона и атмосферного давления на рис. 4. При этом значения температуры и относительной влажности воздуха менялись обратно пропорционально друг другу (рис. 5). В приземном слое атмосферы большую роль играет ветровой режим, но нами этот фактор инструментально не фиксировался. Можно лишь отметить, что в период измерений стояла жаркая антициклональная погода, преимущественно сухая и безветренная. Лишь один раз наблюдался короткий и слабый дождь в середине дня на вторые сутки. Это хорошо видно и по графикам на рис. 5.

За период измерений на поверхности грунта температура и относительная влажность менялись в широких пределах: от 8 до 34 °С, от 60 до 99 % соответственно.

При исследовании параметров на точках, расположенных в грунте, значения температуры с увеличением глубины падают, а влажность меняется незначительно (табл. 1). Видно также, что на каждом горизонте в течение времени замеры температуры остаются постоянными. Практически значения влажности и температуры можно рассматривать как константы, которые не могут повлиять на динамику экскаляции.

Атмосферное давление влияет на экскаляцию радона независимо от положения зонда, то есть на всех горизонтах (табл. 1).

Хорошо прослеживается обратная зависимость динамики значений ОАР

Таблица 1

Изменения метеорологических параметров в период измерений

Глубина, м	Температура, С°	Влажность, %	Давление, мм рт. ст.
0,0	8 – 34	60 – 99	1004 – 1010
0,3	17,5 ± 0,5	96 ± 1	989 – 1001
0,5	16,0	97 ± 1	999 – 1006
0,8	14,5 ± 0,5	97 ± 0,5	998 – 1002

и атмосферного давления на глубинах ниже нулевого горизонта (рис. 6, 7, 8).

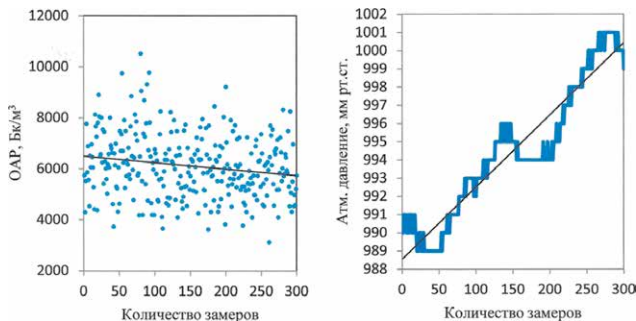


Рис. 6. Динамика значений ОАР и атмосферного давления на глубине 0,3 м

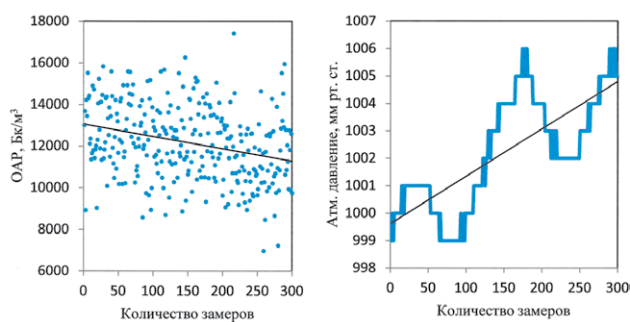


Рис. 7. Динамика значений ОАР и атмосферного давления на глубине 0,5 м

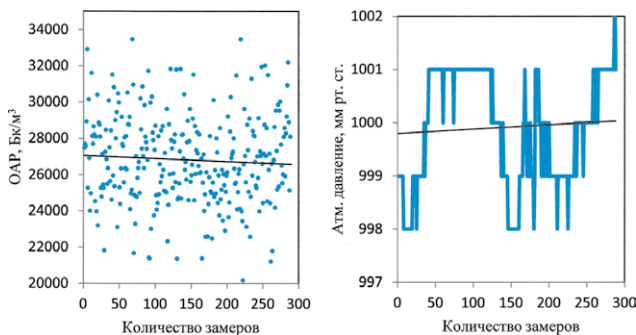


Рис. 8. Динамика значений ОАР и атмосферного давления на глубине 0,8 м

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существование любого общества, жизни человека и человечества в целом неразрывно связано с природными условиями. Ценности, которые в различных культурах считаются высшими, могут различаться, но вершиной остается жизнь всего человечества; для её сохранения необходима благоприятная природная среда. Проблема сохранения жизни на Земле усложняется тем, что не все факторы влияния зависят от промышленного, сельскохозяйственного и т.д. вмешательства; очень

многие из них являются естественными, поэтому задача состоит в наблюдении за ними, экологической рефлексии, контроле ситуации ради сохранения здоровья людей.

Нашей целью являлось исследование зависимости эксхалляции радона от природных факторов, влияющих как на поступление радона в поры почвы, так и на его выделение. Определить ведущий фактор, влияющий на эксхалляцию, — достаточно трудная задача. В нашем случае при сравнении динамики изменения объемной активности радона и атмосферного давления наблюдалась прямая зависимость эксхалляции от фактора колебания (давления). Следует вывод, что на изменение концентрации радона в грунте ведущее влияние оказывают перепады атмосферного давления, в то время как суточные колебания температуры и влажности фактически не менялись, поэтому их влияние за короткий период наблюдений, в отличие от сезонных, не является валидным. Другими словами, для температуры и влажности грунта суточные колебания метеопараметров не релевантны.

В целом концентрация радона в почве (грунте) с глубиной возрастает.

Что касается выделения радона на поверхность, — за период наблюдений здесь наблюдался суточный рост объемной активности радона. Вместе с тем ОАР зависит от множества факторов: помимо атмосферного давления (которое также растет), на значение эксхалляции в точке замеров влияют ветровой режим, солнечная радиация, иные метеопараметры.

За период наблюдений на поверхности грунта значения температуры и относительной влажности воздуха менялись обратно пропорционально друг другу в широких пределах.

Подводя главный итог, необходимо еще раз подчеркнуть, что радон — исключительно опасный газ, и его мониторинг, позволяющий выявить закономерности его «поведения», во всех случаях и ситуациях помогает продвинуться в решении задачи обеспечения безопасности, то есть здоровья и жизни населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корецкая Л. С., Оверченко А. В. Статистическое описание радона и табакокурения как совокупных факторов риска для возникновения бронхолегочного рака в Республике Молдова // Труды Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Белорусского государственного медицинского университета «Современные технологии в медицинском образовании». 2021. С. 1738–1742.
2. Токарева А. Ю., Алимова Г. С. Сравнительная характеристика радоноопасности территорий некоторых геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–2. С. 347–352.
3. Бекман И. Н. Эманирование твердых тел: учеб. пособие. URL: <http://profbeckman.narod.ru/Eman.htm> (дата обращения: 14.05.2023)
4. Понкин И. В., Лаптева А. И. Методология научных исследований и прикладной аналитики: Учебник. Издание 2-е, дополн. и перераб.. Консорциум «Аналитика. Право. Цифра». М.: Буки Веди, 2021. 567 с.
5. Апкин Р. Н., Забелин А. А. Исследование радона в почвенном воздухе в окрестностях г. Казани // Безопасность в техносфере. 2012. № 3. С. 19–21.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.25.36.008

UDC 613.648

© R. N. Apkin, E. R. Utyakova, 2024

R. N. APKIN

Candidate of Geography Sciences, Associate Professor,
Associate Professor
Kazan State Power Engineering University, Kazan
e-mail: renat.apkin@gmail.com

E. R. UTЯAKOVA

Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan
e-mail: eva24999@mail.ru

NATURAL INFLUENCES ON RADON EXTRACTION: SPECIFIC EXAMPLE

Radon (^{222}Rn) is a colorless and odorless radioactive gas. It is seven times heavier than air; its half-life makes 3.825 days. Under certain conditions, namely, when radon and its 'daughter' thoron decay product accumulate in residential premises, they pose a great danger to the population. It has been established that a person receives up to half of the annual individual exposure dose from natural radiation sources squarely from these gases. According to the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, approximately 20% of the total number of lung cancer cases in the population is caused by inhalation of air containing radon. In this paper measurements data are exposed concerning the radon volume activity in soil air. An analysis of the results of measurements was carried out and an assessment was made of the features of radon exhalation from the soil.

Keywords: RADON, RADIATION, RADON VOLUME ACTIVITY, EXHALATION, METEOROLOGICAL FACTORS

REFERENCES

1. Koretskaya L. S., Overchenko A. V. Statistical description of radon and tobacco smoking as cumulative risk factors for the occurrence of bronchopulmonary cancer in the Republic of Moldova // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the Belarusian State Medical University «Modern technologies in medical education» [Trudy Mezhdunarodnoy

nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu Belorusskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta «Sovremennyye tekhnologii v meditsinskom obrazovanii». 2021. P. 1738–1742. [In Russ.].

2. Tokareva A. Y., Alimova G. S. Comparative characteristics of the radon hazard of the territories of some geomorphological structures of the West Siberian Lowland // Advances of modern natural science [Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya]. 2019. No. 12-2. P. 347–352. [In Russ.].

3. Beckman I. N. Emanation of solids: textbook. Allowance. URL: <http://profbeckman.narod.ru/Eman.htm> (date of access: 05/14/2023) [In Russ.].

4. Ponkin I. V., Lapteva A. I. Research Methodology and Applied Analytics: Textbook. Edition 2, supplement. and reworked. Consortium «Analytics. Right. Number». M.: Buki Vedi, 2021. 567 p. [In Russ.].

5. Apkin R. N., Zabelin A. A. Study of radon in the soil air in the vicinity of Kazan // Security in the technosphere [Bezopasnost v tekhnosfere]. 2012. No. 3. P. 19–21. [In Russ.].