

БИОГЕОХИМИЯ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

УДК 546.791:631.4

РАДОН В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ И ЕГО ЭФФЕКТИВНЫЕ ДОЗЫ НА ТЕРРИТОРИИ ДАГЕСТАНА

© А.С. Абдулаева

Ключевые слова: миграция радона; турбулентность; атмосфера; почва; вода; воздух; эффективная доза. Приводятся результаты определения содержания радона в воде и воздухе жилых помещений Дагестана. Определены эффективные эквивалентные дозы облучения населения Дагестана радоновым излучением в разных географических зонах республики. Полученные результаты дают основание считать, что уровни облучения населения, обусловленные содержанием изотопов радона в воздухе помещений, не могут быть значимыми. Содержание радона, по меньшей мере, в 90 % родниковых водах, определяющих дозовую нагрузку на население, находится (из-за небольшого содержания урана в почвах и породах) ниже нормативной величины.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объемная активность радона в помещениях определяли радиометром РРА-01 путем сорбции радона-22 активированным углем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Радоновая проблема (облучение легких) в радиоэкологии стала в последние десятилетия гиперактуальной – на радон ^{222}Rn и дочерние продукты его распада (ДЧР), по некоторым оценкам [1–2], может приходиться до 50–70 % дозы облучения, получаемой населением от всех природных источников радиации. Проникая через трещины и щели в фундаменте, радиоактивные газы накапливаются (они в 7,5 раза тяжелее воздуха) в помещениях и попадают в организм человека ингаляционным путем, что и предопределяет их опасность. Считается [3], что 25–30 % от общего числа больных раком легких обусловлено превышением критического уровня концентрации радона в воздухе жилых помещений.

Надо отметить, что источники формирования атмосферного радона и его относительный вклад в суммарную дозу облучения до сих пор достоверно не установлены. К наиболее вероятным источникам можно отнести почвогрунты, растения, грунтовые воды, вулканические извержения, сжигаемые природный газ и уголь, добычу и переработку полезных ископаемых. Есть предположения [4] об образовании радона за счет атмосферных (пыльные бури, сгорание метеоритного вещества) и космических (космическая пыль, магнитное поле Солнца) явлений.

В результате процессов диффузии и адвекции происходит процесс миграции радона в почве, приводящий к выходу его в атмосферу. Концентрация радона в приземной атмосфере может существенно меняться в зависимости от времени суток (в дневное время за счет солнечного излучения повышенная турбулентность

приводит к интенсивному перемешиванию, в ночное и утреннее время температурная инверсия подавляет перенос) и времени года (за счет изменения влажности). В среднем содержание ^{222}Ra в тропосфере над почвой составляет 10 Бк/м³. В приземном слое тропосферы концентрация этого нуклида значительно ниже [5]. Содержание радона и его дочерних продуктов распада в атмосфере будет сильно зависеть не только от турбулентности воздуха, но в прибрежных районах – и от направления и силы ветра [6].

Большое влияние на процесс эманации оказывает влажность, приводящая, как правило, к снижению этого коэффициента за счет поглощения атомов радона водой. Скорость эмиссии радона меняется в зависимости от состава почвы, содержания влаги, пористости и проницаемости, но ее колебания можно считать незначительными, а в масштабе нескольких дней на расстояниях и несколько километров [7].

Наибольшие концентрации радона наблюдаются почве и в водах подземных источников, причем эти концентрации весьма различны в зависимости от наличия радия и тория в породах той или иной страны или района. Среднее содержание радона в почве на глубине 10 см оценивается в 158–136 кБк·м⁻³. Концентрации урана-238 и тория-232 в почвах различных районов весьма различны, достигая максимальных величин в урановых провинциях и районах, богатых моноцитовыми отложениями. В большинстве районов с т. н. «нормальным» содержанием урана и тория их концентрация колеблется в пределах 7–50 Бк·кг⁻¹ и, соответственно, будет изменяться содержание радона [6].

Содержание радона в подземных водах и в водах источников и скважин зависит от концентрации ^{226}Ra в породе водосборной площади. Высокое содержание ^{222}Ra (более чем 400 мБк·м⁻³) связано с содержанием воды урановых провинций пробуренных гранитов. Низкие концентрации встречаются в грунтовых водах осадочных пород (известняки песчаники). Много радо-

на может содержать вода из глубоких скважин или артезианских колодцев. Например, в подземных водах его концентрация может измениться от 4 до 5 Бк/л до 3–4 МБк/л, т. е. в миллион раз. В водах озер и рек концентрация радона резко превышает 0,5 Бк/л, а в водах морей и океанов – не более 0,05 Бк/л [8].

Нормируемым показателем радиационной безопасности воды является удельная активность природных изотопов радона – концентрация ^{222}Rn в воде не должна превышать 60 Бк/л [7].

В последние десятилетия несколько раз в месяц содержание радона в приземной атмосфере вдруг резко увеличивается во много раз. Эти настоящие радоновые бури сопровождаются бурями электрическими, точнее – аэроионными, тогда столь же резко возрастает природная концентрация ионов в воздухе. И как следствие этого примерно у 25–30 % населения наблюдаются одышка, сердцебиение, мигрень, бессонница, тревожное состояние и другие неприятные явления.

Благородный газ радон через трещины и поры грунта, асфальтовых покрытий, строительных материалов поступает в приповерхностный слой атмосферы, где он рассеивается главным образом по механизму турбулентной диффузии [7].

Повышенное содержание радона в воздухе наблюдается в домах, в которых происходит его накопление как из почвы (подвалы, первые этажи), так и из строительных материалов, многие из которых имеют повышенное содержание радия и тем самым являются дополнительными источниками поступления радона [6], что должно учитываться в проектировании и строительстве домов в городах и сельском хозяйстве.

Так как для строительства используются природные материалы, то и в домах человек не избавлен от облучения естественной радиоактивностью. Меньше всего она в деревянных домах (0,5 мЗв в год), а в кирпичных и железобетонных может быть до 1,5 мЗв в год.

По современным оценкам, концентрация радона в домах варьирует в пределах четырех порядков. Особо-го внимания заслуживают случаи аномально высоких значений объемной активности радона в отдельных домах. Максимальные зарегистрированные значения объемной активности составляют 20 тыс. Бк/м³ (Швеция). Среднее значение колеблется в зависимости от стран от 6 до 60 Бк/м³ [8].

Специальные исследования по содержанию радона и дочерних продуктов его распада в природных водах Дагестана нами не проводились, но достаточно уверенно можно констатировать, во-первых, что удельная активность ^{222}Rn в речных водах будет (из-за сильной аэрации) существенно меньше, чем в родниковых и, во-вторых, что содержание радона, по меньшей мере, в 90 % родниковых водах, определяющих дозовую нагрузку на население, будет (из-за небольшого содержания урана в почвах и породах) ниже нормативной величины.

В данной работе за основу анализа дозовой нагрузки населения принята (хотя в некоторых частностях было бы более целесообразно использовать геологическое или бассейновое дробление) вертикальная поясность территории Дагестана путем ее деления на четыре пояса: равнина (–27–400 м БС), низкогорье (400–800 м БС), среднегорье (800–1700 м БС) и высокогорье (1700–3000 м БС). Зона выше 3000 м, где проживает менее 1 % населения, в расчет не принималась.

Нами были обследованы жилые помещения с. Ахты и г. Махачкалы на содержание радона. При этом намеренно выбирали предположительно радоноопасные объекты – одноэтажные дома из глины или нежженого кирпича и полуподвальные помещения без принудительной вентиляции и специальной защиты от проникновения радона из почвы. Средняя объемная активность радона в исследованных помещениях (несмотря на существенное различие геологического строения территорий) г. Махачкалы составила 5 ± 2 Бк/м³, с. Ахты – $7,5 \pm 2$ Бк/м³, что в 20–30 раз ниже нормативной величины. Следовательно, по радоновой опасности исследованные территории должны быть отнесены к первой, самой безопасной категории. Одной из причин такой низкой радоноопасности, возможно, является расположение населенных пунктов Дагестана в зоне постоянного воздействия восходящих воздушных потоков, которые снижают накопление радона в приземном слое атмосферы.

Необходимо, однако, сказать, что эта проблема осталась (из-за финансовых ограничений) наименее изученной; полученные результаты лишь условно дают основание считать, что уровни облучения населения, обусловленные содержанием изотопов радона в воздухе помещений, не могут быть значимыми. Реальные же уровни радонового облучения, наверное, будут несколько выше, поскольку, во-первых, мгновенные измерения, проведенные нами в дневное время, обычно характеризуются минимальными значениями, во-вторых, наличие в Дагестане активных тектонических разломов предопределяет наличие районов потенциального радонового риска. Проникая через трещины и щели в фундаменте, радиоактивные газы накапливаются (они 7,5 раза тяжелее воздуха) в помещениях и попадают в организм человека ингаляционным путем, что и предопределяет их опасность.

Необходимо отметить, что в зонах с умеренным климатом концентрация радона в закрытых помещениях в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Еще одним источником поступления радона в жилое помещение является не только почва и вода, но и природный или сжиженный газ, который используется для обогрева и приготовления пищи, заметно возрастает, если кухонные плиты, отопительные и нагревательные устройства, в которых сжигают газ, не снабжены вытяжкой.

Известно, что содержание радия в воде зависит и от источника водоснабжения, колеблется от 0 до 100 млн Бк/м³. Скорость поступления зависит от типа почвы, времени суток, сезона, метеорологических условий. Вода из открытых водоемов обычно содержит мало радона по сравнению с водой из глубоких скважин артезианских колодцев, характеризующейся высокой концентрацией этого газа, при этом вклад в общее поступление радионуклидов в организм человека от поступления с питьевой водой оказывается существенным [8].

Однако наиболее опасным представляется не питьевая вода, а попадание паров воды с высоким содержанием радона в легкие человека вместе с вдыхаемым воздухом, что чаще всего происходит в ванной комнате. После отключения на 7 мин. душа содержание радона уменьшается до исходного уровня. Так, например, при приеме душа из водопроводной воды, содержащей 4,4 кБк/м³ радона, его концентрация в воздухе ванной помещения с 19 Бк/м³ (до приема душа) возрастает после 3 мин. до 1890 Бк/м³, а после 8 мин. приема душа –

до 3500 Бк м^{-3} радона и 2400 Бк м^{-3} дочерних продуктов распада [6]. При поступлении радона с водой считается, что средняя концентрация радона в воде равна 10 мБк м^{-3} , коэффициент перехода его из воды в воздух равен 10^{-4} [5].

В органы дыхания человека за сутки попадают около 20 млн атомов радона, а при высоком радоноснабжении – более млрд тяжелых атомов этого испускающего частицы радиоактивного газа, разрушающие живую ткань. Поскольку радиоактивный радон воздействует на верхние дыхательные пути человека, возникающие при его распаде α -частицы облучают эпителий бронхов, т. е. происходит ионизация и возбуждение атомов покровных слоев ткани, т. е. клеток эпителий [8].

Один из двадцати человек, умирающих от рака легких, заболевает им в результате воздействия радона. Таков итог исследований, проведенных Лондонским королевским институтом по изучению рака. Как сказано выше [3], из общего числа больных раком легких примерно у 30 % больных превышен критический уровень концентрации радона в воздухе жилых помещений.

До 1990 г. ни в одной стране не устанавливались нормативы содержания радона и дочерних продуктов его распада в жилых помещениях.

В настоящее время в ряде стран приняты нормы допустимых концентраций радона внутри помещений. Соответствующие нормативы для существующих зданий приведены в табл. 1. В 1995 г. в нашей стране принят федеральный закон «О радиационной безопасности населения» и действуют специальные нормы радиационной безопасности. В них указано, что при проектировании новых зданий должно быть предусмотрено,

чтобы среднегодовая эквивалентная объемная активность изотопов радона в воздухе помещений не превышала 100 Бк м^{-3} . В жилых зданиях эта же величина не должна превышать 200 Бк м^{-3} , а при больших значениях необходимо проводить защитные мероприятия. Вопрос о переселении жильцов и перепрофилировании или сносе здания решается в тех случаях, когда невозможно снижение объемной активности изотопов радона до значения менее 400 Бк м^{-3} [8].

Среднее мировое значение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в воздухе жилых и общественных помещений составляет 20 Бк м^{-3} , среднее российское – 30 Бк м^{-3} [9]. Такая разница обусловлена, главным образом, возведением в России жилых домов с глубокими котлованами и капитальными стенами, а также с низким коэффициентом воздухообмена по сравнению со странами с более теплым климатом. Однако в России выявлено [10–11] много районов, в которых ЭРОА радона в воздухе открытой местности и жилых помещений превышает гигиенический норматив, равный 200 Бк м^{-3} ; в жилых помещениях некоторых населенных пунктов это превышение достигает до 2000 раз.

Подводя итог формированию эффективной дозы от поступления ^{222}Rn , ^{220}Rn в организм человека, можно сделать следующие выводы. Доза за счет ингаляции изотопов радона (^{222}Rn , ^{220}Rn) и их короткоживущих дочерних продуктов (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{212}Pb , ^{212}Bi) является чрезвычайно важным радиозоологическим параметром, и ее необходимо оценивать по результатам обследования представительной выборки жилых помещений (табл. 2). Выборка должна быть представительной по геолого-геофизическим характеристикам мест застройки и строительно-конструктивным характеристикам зданий. Хотя полученные нами данные [12] вряд ли можно отнести к таковым, но они могут быть использованы для оценки E_{Rn} в первом приближении.

Годовая эффективная доза облучения населения за счет изотопов радона

$$E_{\text{Rn}} = 9 \cdot 10^{-6} \cdot (0,7C_{\text{пом}} + 0,3C_{\text{о.м.}}) \cdot 1,05, \text{ мЗв/год},$$

где $C_{\text{пом}}$ и $C_{\text{о.м.}}$ – среднегодовые значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений и на открытой местности в Бк м^{-3} ; коэффициент 1,05 учитывает вклад в дозу материнских радионуклидов ^{220}Rn и ^{222}Rn . Коэффициент перехода от среднегодового значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона и торона в воздухе ($A_{\text{Rn}} + 4,6A_{\text{Тb}}$, экв) к годовой эффективной дозе (E_{Rn} , мЗв) принимается равным $0,043 \text{ мЗв/год}$ на 1 Бк м^{-3} . Если предположить,

Таблица 1

Нормативы равновесной концентрации радона в воздухе жилых помещений (Бк м^{-3})

| Страна | Существующие здания | Проектируемые здания |
|--|---------------------|----------------------|
| Швеция | 100 | 100 |
| Канада | 400 | — |
| Германия | 200 | — |
| Россия | 200 | 100 |
| Международная комиссия радиозоологической защиты | 200 | 100 |

Таблица 2

Радоновый источник облучения населения Дагестана и обусловленные им эффективные дозы

| Источник излучения; вид облучения | Равнинная зона, $h = -27-400 \text{ м}$ | | Низкогорная зона, $h = 400-800 \text{ м}$ | | Среднегорная зона, $h = 800-1700 \text{ м}$ | | Высокогорная зона, $h = 700-3000 \text{ м}$ | |
|--------------------------------------|---|----------|---|----------|---|----------|---|----------|
| | Доза, мЗв/год | Вклад, % | Доза, мЗв/год | Вклад, % | Доза, мЗв/год | Вклад, % | Доза, мЗв/год | Вклад, % |
| Радон в воздухе; внутренне природное | 0,40 | 11,9 | 0,40 | 10,6 | 0,40 | 9,3 | 0,4 | 8,5 |

что $C_{\text{пом}} = C_{\text{о.м.}}$ (в действительности же $C_{\text{пом}} \gg C_{\text{о.м.}}$), то годовая эквивалентная доза, получаемая средним жителем Дагестана за счет ингаляции радона, торона и их дочерних продуктов, составит 0,4 мЗв. Среднемировое значение дозы за счет ингаляции радона и его дочерних продуктов составляет 0,83 мЗв/год, среднероссийское – 1,24 мЗв/год, причем диапазон значений этой дозы для жителей отдельных регионов России примерно сороккратный: от значений в 4 раза ниже до значения в 10 раз выше среднего [13].

За счет радона и дочерних продуктов его распада средний житель планеты получает в среднем за год около 100 мбэр = 1 мЗв облучения [8].

Необходимо, однако, сказать, что эта проблема в Дагестане осталась (из-за финансовых ограничений) наименее изученной; полученные результаты лишь условно дают основание считать, что уровни облучения населения, обусловленные содержанием изотопов радона в воздухе помещений, не могут быть значимыми. Реальные же уровни радонового облучения, наверное, будут несколько выше, поскольку, во-первых, мгновенные измерения, проведенные нами в дневное время, обычно характеризуются минимальными значениями, во-вторых, наличие в Дагестане активных тектонических разломов предопределяет наличие районов потенциального радонового облучения.

Данные исследования по изучению концентрации радона в воде и в воздухе жилых помещений рекомендуют продолжить и расширить, особенно в условиях высокогорных районов Республики Дагестан.

В целом радоновая обстановка в Дагестане может быть оценена как благополучно-удовлетворительная. На территории республики в местах массового проживания населения нет участков с аномально высоким уровнем содержания радона.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверкина Н.Н.* Проблема канцерогенного влияния радона на организм человека // Медицина труда и промышленная экология. 1996. № 9. С. 32-36.
2. Источники и эффекты ионизирующего излучения: Отчет Научного комитета ООН по действию атомной радиации 2000 года Генеральной Ассамблеи ООН с научными приложениями. Т. 1. Источники (часть 1) / пер. с англ. под ред. Л.А. Ильина и С.П. Ярмоненко. М.: РАДЭКОН, 2002. 308 с.
3. *Khan H.A.* Radon: a friend or a foe? // Nucl. Tracks Radial. Meas. 1955. V. 19. № 1-4. P. 353.
4. *Ковдерко В.Э.* Радон: экологический аспект, источники, проблемы // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы Междунар. конф. Томск: Изд-во «Тандем-арт», 2004.
5. *Сахаров В.К.* Радиоэкология: учеб. пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2006. 320 с.
6. *Кузин А.М.* Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М.: Наука, 1991. 116 с.
7. *Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н.* Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 286 с.
8. *Усманов С.М.* Радиация: Справочные материалы. М.: Гуманит. издат. центр ВЛАДОС, 2001. 176 с.
9. Геологический атлас России. М. 1:10000000 / отв. ред. А.А. Смыслов. Дазд. 4. Экологическое состояние геологической среды. Москва; Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 1996. 120 с.
10. *Алексахин Р.М., Гуськова А.К.* 42-я сессия Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН // Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. М., 1994. № 7-8.
11. *Максимовский В.А., Харламов М.Г., Мальцев А.В., Лучин И.А., Смыслов А.А.* Районирование территории России по степени радиоопасности // АНРИ. 1997. № 3. С. 66-73.
12. *Бутаев А.М., Абдулаева А.С., Гурьев М.А.* Радиоактивность природных вод и искусственные радионуклиды в объектах биосферы Дагестана // Вестник Дагестанского научного центра. 2006. № 24. С. 62-69.
13. *Бутаев А.М., Абдулаева А.С.* Эффективные дозы облучения населения Дагестана // Вестник Дагестанского научного центра. 2006. № 25. С. 62-71.
14. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1. 758-99.* Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. М.: Минздрав РФ, 1999. 116 с.

Поступила в редакцию 12 сентября 2012 г.

Abdulayeva A.S. RADON IN ENVIRONMENT AND ITS EFFECTIVE DOSE IN DAGESTAN

The results of determination of radon in water and indoor air Dagestan are conducted. The effective dose equivalent of the population of Dagestan radon in different geographical areas of the country is determined. These results give the evidence that the levels of exposure of the public due to the content of the isotopes of radon in indoor air may not be significant. First defined radon, at least 90 % of spring waters, determining radiation dose to the population, are (due to the small content of uranium in soils and rocks) below the normative value.

Key words: migration of radon; turbulence; atmosphere; soil; water; air; effective dose.