

СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДОНОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ

Н. В. Бакаева, д.т.н., профессор^а; А. В. Калайдо, к.т.н., доцент^б

^а НИУ «Московский государственный строительный университет»,

^б ЛНР ГОУ ВПО «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко»

Аннотация. Современный человек большую часть годовой дозы радиоактивного облучения получает от радона и его дочерних продуктов распада в жилых и служебных помещениях, причем проблема бытового облучения характерна как для традиционно радоноопасных регионов (Алтай, Северный Кавказ), так и для равнинных потенциально нерадоноопасных территорий. В работе представлены результаты исследования закономерностей формирования радоновой обстановки в зданиях с длительным пребыванием людей. Полученные данные позволяют утверждать, что заглубленная часть здания оказывает решающее влияние на объем поступающего из грунта радона, а радиационная безопасность здания может быть обеспечена рациональным проектированием подземных ограждающих конструкций.

Ключевые слова: радон, облучение, внутренняя среда, грунт, дочерние продукты распада.



Бакаева
Наталья Владимировна



Калайдо
Александр Витальевич

Обеспечение экологической безопасности воздушной среды зданий с длительным пребыванием людей является важнейшей научно-практической задачей строительной отрасли, поскольку в помещениях человек проводит около 7 000 часов в год. В современных зданиях неизбежно присутствует определенный набор вредных факторов физической и химической природы, среди которых наибольшую опасность здоровью человека несет действие ионизирующих излучений (радиации).

В настоящее время установлено, что большую часть годовой дозы облучения (60-75%) человек получает в закрытых помещениях от радона и его дочерних продуктов распада [1]. Еще больший вклад радоновой составляющей (до 95%) характерен для зон радиационных аномалий (Республики Алтай и Тыва, Ставропольский край) [2; 3]. Всемирной организацией здравоохранения радон по воздействию на человека отнесен к классу легочных канцерогенов, а по частоте индуцирования рака легкого он уступает только курению [4]. Но современному обществу радоновая проблема практически незнакома, более того, бытует стереотип (сформированный катастрофой на Чернобыльской АЭС), что угрозу здоровью больших групп населения могут представлять исключительно аварии на предприятиях ядерно-топливного цикла [5].

Следует заметить, что сам термин «облучение радоном» достаточно условен, поскольку более 95% дозы облучения легких формирует не сам радон, а его потомство. При распаде радона в воздухе помещений образуются короткоживущие дочерние продукты распада (ДПР), которые вследствие ионизированного состояния легко адсорбируются на частицах пыли. Эти продукты распада являются тяжелыми металлами, они попадают в легкие человека при дыхании, осаждаются в дыхательных путях, где и испытывают распад, не успевая вывестись из-за малого периода полураспада $T_{1/2}$. Значимый вклад во внутреннее облучение человека имеют продукты распада двух изотопов – радона-222 и радона-220 (торона). Основной радионуклид ^{222}Rn имеет 10 ДПР (рис. 1, а), из которых опасность для здоровья представляют лишь короткоживущие альфа-излучатели ^{218}Po , ^{214}Pb и ^{214}Bi . В семействе торона образуются еще более опасные изотопы (^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi и ^{212}Po ; рис. 1, б), но их вклад в облучение органов дыхания редко превышает несколько процентов. Дело в том, что из-за малого времени жизни ($T_{1/2} = 54$ с) торон не способен проникать в здания извне, поэтому его источником выступают исключительно материалы ограждающих конструкций здания, в которых высокая концентрация материнского радия невозможна по причине радиационного контроля сырья в строительной индустрии.

Количественное содержание радона в воздухе выражается его эквивалентной равновесной объемной активностью (ЭРОА), единицей измерения которой является беккерель на метр кубический ($\text{Бк}/\text{м}^3$) – активность, при которой за 1 с в 1 м^3 воздуха имеет место один акт распада радона. Санитарным законодательством практически всех стран установлены предельно допустимые уровни радона в помещениях, зависящие от геофизических, климатических и других особенностей территорий, в единицах ЭРОА большинство этих уровней находится в пределах от $100 \text{ Бк}/\text{м}^3$ (ЛНР, ДНР) до $200 \text{ Бк}/\text{м}^3$ (РФ).

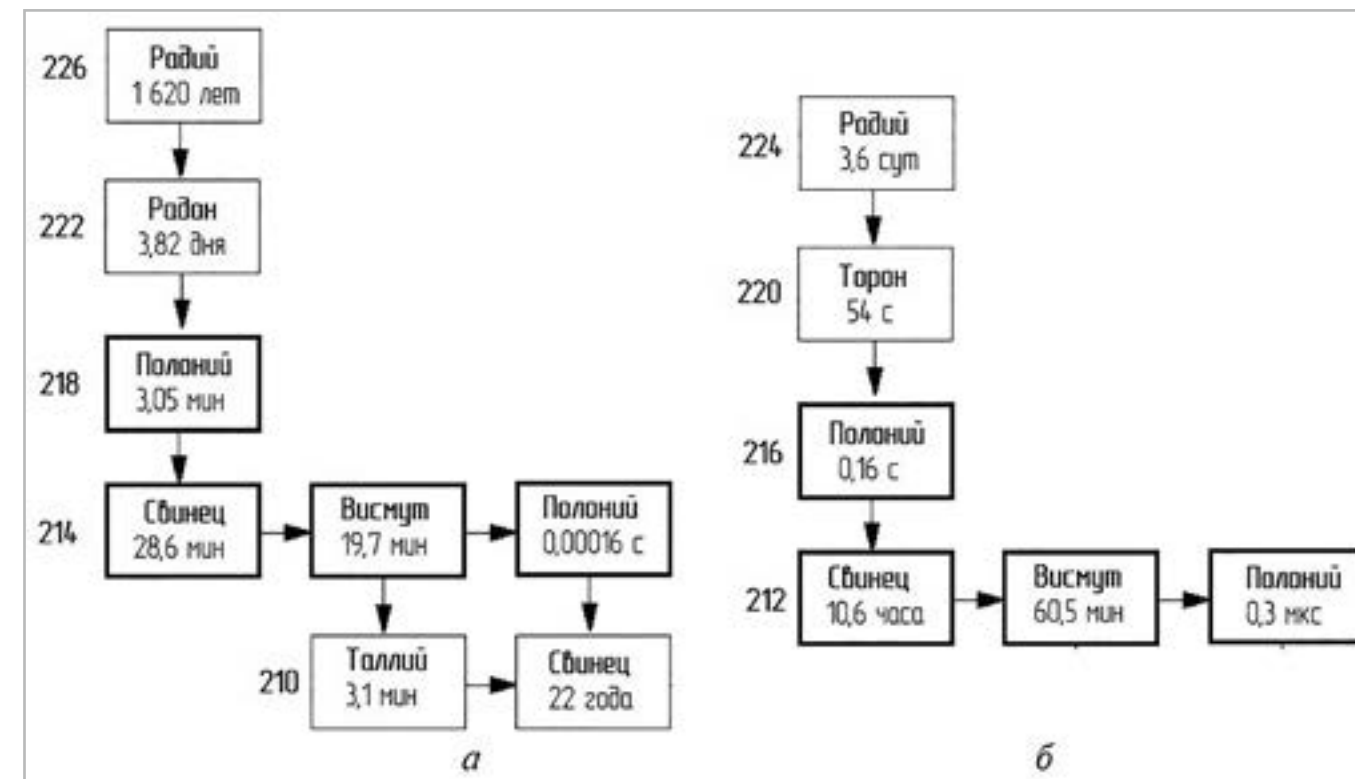


Рис. 1. Схема образования изотопов радона и их дочерних продуктов распада: а – радон-222; б – радон-220 (торон)

Кроме того, во многих странах допустимые уровни радона установлены отдельно для эксплуатируемых и строящихся зданий [6].

Облучение радоном относят к техногенно-измененному природному облучению, поскольку его источником являются естественные радионуклиды в природных и строительных материалах, а деятельность человека только создает условия для накопления радона в опасных концентрациях. На открытой местности радон безопасен независимо от содержания радионуклидов в подстилающем грунте, его активность в атмосферном воздухе редко превышает $10 \text{ Бк}/\text{м}^3$. Более того, широко известны лечебные свойства радона (радонотерапия), однако они проявляются только при строго дозированном воздействии на определенные органы и ткани, тогда как бытовое облучение радоном всегда несет ущерб здоровью человека.

Высокие уровни радона в воздухе помещений возможны только при одновременном присутствии в окрестности здания источника радона, путей и движущих сил его переноса к подземным ограждающим конструкциям, а также путей поступления непосредственно в здание. Грунт под зданием является, по сути, единственным источником поступления радона, способным обеспечить превышение установленных контрольных уровней. Вклад выделения радона из материалов ограждающих конструкций зданий (второго по мощности источника поступления) крайне редко превышает 10% от общей активности радона в воздухе помещения. Как следствие, повышенное облучение радоном чаще всего имеет место в помещениях нижнего этажа, непосредственно контактирующего с грунтовым основанием. Редкое исключение составляют случаи, когда в здании существует интенсивный перенос воздушных масс с нижнего этажа по зданию.

Поскольку до 90% радона в воздухе помещений нижнего этажа поступает из грунтового основания, то

понимание механизма переноса радона из грунта в здание имеет первостепенное значение при разработке эффективного подхода к созданию радиационно-безопасного строительного объекта. Поступление радона в здания возможно посредством конвективного и диффузионного механизмов, движущей силой диффузионного поступления является разность концентраций радона в грунтовом воздухе и воздухе помещения ($\Delta C_{Rn} = 10^3 \dots 10^5 \text{ Бк}/\text{м}^3$), а для конвективного переноса необходима разность давлений внутри и снаружи здания (обычно $\Delta P = 1 \dots 2 \text{ Па}$) и неплотности в подземной части его оболочки. Обычно один из этих механизмов является доминирующим, а вкладом второго можно пренебречь. Принято полагать, что в домах без монолитного фундамента или с воздухопроницаемой конструкцией пола доминирует конвекция, тогда как для зданий, построенных по современным технологиям с герметичной подземной частью из материалов с высоким сопротивлением радонопроницанию, диффузия остается единственным механизмом поступления.

Современную парадигму обеспечения радиационно-безопасности здания можно сформулировать следующим образом: конструкция подземной части здания должна эффективно ограничивать поступление радона из грунта, выполняя при этом основную несущую функцию. Необходимость же использования систем вентиляции для удаления избыточного радона указывает на ошибки в проектировании конструкции пола.

Исследования степени радоноопасности городского хозяйства, выполненные в последние годы в Луганске, позволяют нам утверждать, что именно конструкция пола оказывает решающее влияние на радоновую ситуацию в помещениях нижнего этажа. На рис. 2 представлены средние за период измерений (весна-осень) значения ЭРОА радона в зданиях без монолитного фундамента – в частном жилье (рис. 1, а) и одном из детских садов (рис. 1, б) наиболее

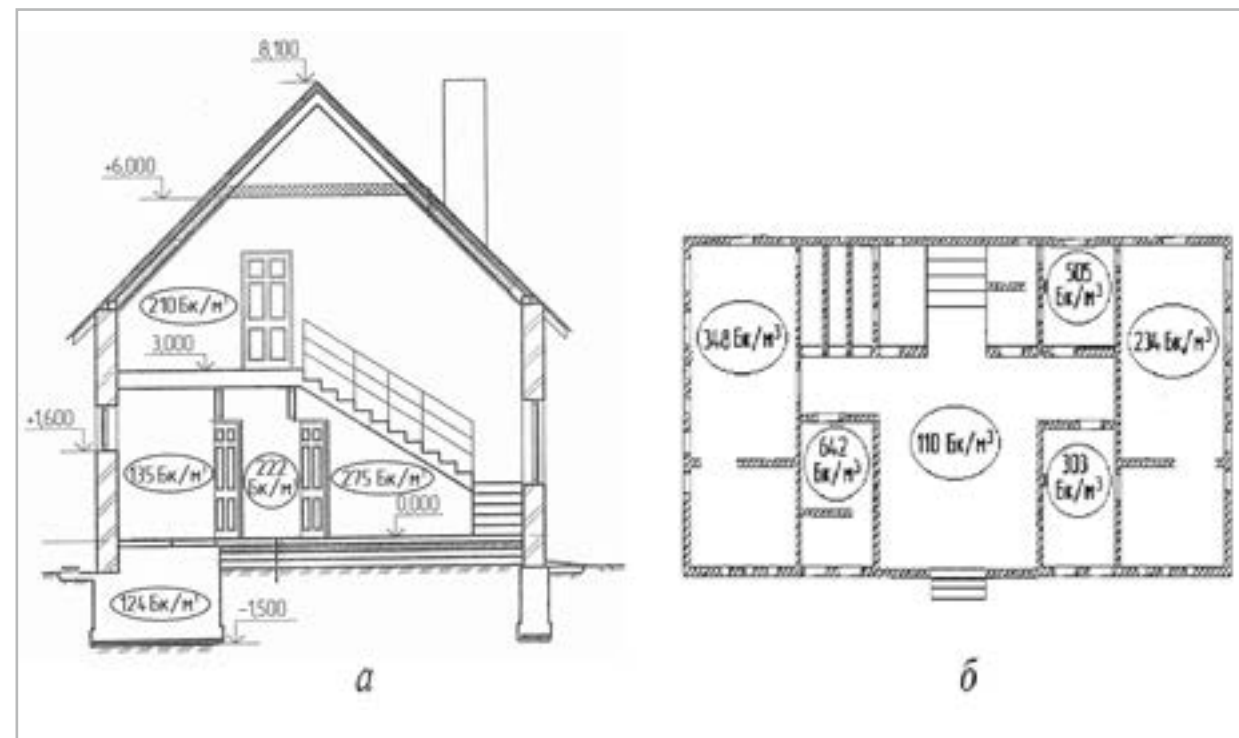


Рис. 2. Средние уровни радона в объектах исследования:
а – частный жилой дом; б – первый этаж детского ясли-сада № 57 (без подвала)

радоноопасного Каменнобродского района Луганска. Превышение установленных уровней отмечены практически для всех объектов исследования в этом районе, имевших сходную конструкцию пола. В то же время, не превышали 50 Бк/м³ уровни радона в помещениях цокольного этажа двух близлежащих школ, имеющих в основании бетонную плиту, опирающуюся на ростверк.

Выполненный в лаборатории радиационной безопасности в строительстве НИИ Строительной физики РААСН (г. Москва) гамма-спектрометрический анализ грунта, отобранного на территории детского ясли-сада, показал содержание радия в нем, близкое к среднему мировому

$$C_{Ra} = 35,0 \pm 6,8 \text{ Бк/кг},$$

при удельной эффективной активности естественных радионуклидов

$$A_{эфф} = 104,5 \pm 22,9 \text{ Бк/кг}.$$

Близкие значения C_{Ra} и $A_{эфф}$ были получены и для пробы грунта с территории частного домостроения. Таким образом, проблема повышенного облучения радоном актуальна и для равнинных территорий, сформированных грунтами со средним содержанием радия.

Очевидно, что поступление радона из грунта в здание в широком диапазоне может регулироваться конструкцией и подбором материалов фундамента. Подземная оболочка здания должна сделать невозможным наиболее интенсивное конвективное поступление и свести к минимуму диффузионное, которое является постоянно действующим. Стратегия обеспечения радоновой безопасности здания при его проектировании должна включать следующие этапы:

1. Определение радоновой нагрузки ΔA на подземные ограждающие конструкции здания. Ее можно принять равной радоновому потенциалу грунта P_{Rn} – максимальной активности радона в грунте, которая достигается на глубине нескольких метров (в зависимости от его проницаемости)

$$\Delta A \approx P_{Rn} = C_{Ra} \rho k_{эм} \quad (1)$$

где ρ – плотность грунта, кг/м³;

$k_{эм}$ – коэффициент эманирования радона грунтом.

Содержание радия в грунте и коэффициент эманирования могут быть определены при гамма-спектрометрическом анализе грунта с места закладки фундамента. Методика определения $k_{эм}$ состоит в измерении разности удельных активностей пробы сразу после отбора и после ее герметизации на время установления радиоактивного равновесия.

2. Определение предельной допустимой плотности потока радона q_n , Бк/(м²·с) из грунта через граничащую с ним конструкцию пола из уравнения радонового баланса помещения

$$\text{ЭРОА} = \frac{1,1 \cdot q_n \cdot S_n}{V(\lambda + \lambda_в)}, \quad (2)$$

где S_n – площадь граничащей с грунтом конструкции пола, м²;

V – объем помещения, м³;

λ – постоянная распада радона, с⁻¹;

$\lambda_в$ – воздухообмен в помещении, с⁻¹.

В формуле (2) ЭРОА представляет собой наперед заданное значение объемной активности радона в строящемся здании (обычно 20–40 Бк/м³). Вклад выделения радона из материалов ограждающих конструкций в (2) принят постоянным и равным 10% от его поступления через конструкцию пола (коэффициент 1,1).

3. Расчет требуемого сопротивления радонопроницанию конструкции пола R , с/м по формуле

$$q_n = \frac{\Delta A}{R}. \quad (3)$$

4. Разработка конструкции заглубленной части здания. Чаще всего радонозащитные свойства здания определяются двумя наименее радонопроницаемыми слоями конструкции пола (бетон и гидрогазоизоляция). В этом случае из уравнения сопротивления радонопроницанию двухслойной конструкции при известных характеристиках бетона и гидрогазоизоляции можно определить минимальную необходимую толщину бетонной плиты

$$R = \frac{1}{\sqrt{\lambda D_2}} \cdot ch\left(h_1 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_1}}\right) sh\left(h_2 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_2}}\right) + \frac{1}{\sqrt{\lambda D_1}} sh\left(h_1 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_1}}\right) ch\left(h_2 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_2}}\right),$$

где h_1 и h_2 – толщина бетона и гидрогазоизоляции, соответственно, м;

D_1 и D_2 – коэффициент диффузии радона в этих материалах, м²/с.

Если же гидрогазоизоляция не используется в проектируемой конструкции, то формула (4) существенно упрощается и принимает вид

$$R_{mp} = \frac{1}{\sqrt{\lambda D}} \cdot sh\left(H \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D}}\right) \quad (5)$$

где H – толщина плиты основания, м;

D – коэффициент диффузии радона в материале плиты основания, м²/с.

Определение толщины бетонной плиты при известном коэффициенте диффузии радона в бетоне по формуле (5) не представляет сложности. Следует отметить, что данная толщина не должна существенно отличаться от минимальной достаточной для реализации несущей функции (в противном случае необходимо введение второго слоя радонозащиты).

Таким образом, проведенные исследования позволяют нам сделать следующие выводы:

1. Облучение радоном в помещениях наносит значительный социальный ущерб, ухудшая генофонд населения во всех без исключения странах с умеренным климатом.

2. Практически весь радон поступает в здание из грунта в его основании через горизонтальные подземные ограждающие конструкции, поэтому ограничение поступления радона в помещения следует реализовать исключительно посредством строительных технологий.

3. Радонобезопасность здания может быть обеспечена практически на любых грунтах за счет рационального проектирования заглубленной части здания и использования в конструкции пола материалов с высоким сопротивлением радонопроницанию (железобетон и полимерные пленочные материалы).

Список литературы

1. Гулябянц, Л. А. Роль радона в сфере жизнедеятельности человека [Текст] // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2013. – № 4. – С. 78-82.
2. Мирончик, А. Ф. Естественные радиоактивные вещества в атмосфере и воздухе жилых помещений Республики Беларусь [Текст] // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 4 (17). – С. 162-71.
3. Кормановская, Т. А. Дозы природного облучения населения Сибирского Федерального Округа [Текст] // Вести МАНЭБ в Омской области. – 2013. – № 3. – С. 13-6.
4. Принципы нормирования облучения населения от естественных источников ионизирующих излучений. Публикация 39 МКРЗ [Текст]. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 129 с.
5. Яблоков, А. В. Миф о безопасности малых доз радиации: Атомная мифология [Текст] – М.: ООО «Проект-Ф», 2002. – 145 с.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/09): Гигиенические нормативы СП 2.6.1.758-99 [Текст]. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.