**РАДОН**

**Чем опасен газ радон?**

Явление радиоактивности было открыто в 1896 году французским ученым Анри Беккерелем. Радиоактивные элементы естественного происхождения присутствуют повсюду в окружающей человека среде. В больших объемах образуются искусственные радионуклиды, главным образом в качестве побочного продукта на предприятиях оборонной промышленности и атомной энергетики. Попадая в окружающую среду, они оказывают воздействия на живые организмы, в чем и заключается их опасность. И наиболее опасен в этом плане радиоактивный газ радон. Впервые открыл это вещество английский физик Э. Резерфорд в 1900 г., назвавший его эманацией (производное от латинского слова «истечение»). А современное имя «радон» дал ему английский физик Дорн в 1900 г, сопоставив его с первоначальным радием. Но радон образуется при распаде не только радия, но также урана, тория, актиния и других радиоактивных элементов.

**Радон в природе**

Это благородный газ без цвета и запаха, ядовит, да еще и радиоактивен. Он легко растворяется в воде, а еще лучше в жировых тканях живых организмов. Так как радон довольно тяжел (в 7,5 раз тяжелее воздуха), он «обитает» в толщах земных пород, и, конечно, выделяется понемногу в атмосферу. Но не сам по себе, а в смеси с увлекающими его потоками других, более легких газов - водорода, углекислого газа, метана, азота и других. Все они порождаются глубинными процессами. Интересен тот факт, что радон, являясь инертным газом, не образует аэрозолей, т.е. не присоединяется к пылинкам, тяжёлым ионам и т.д. Из-за химической инертности и большого периода полураспада он может мигрировать по трещинам, порам почвы и пород на большие расстояния, причём довольно длительно (около 10 дней). Радон также содержится в некоторых минеральных водах, которые так и называются радоновыми.

**Влияние на живые организмы**

Лишь недавно ученые выяснили, что наибольший вклад в радиоактивное облучение человека вносит именно радон. Он ответствен за 3/4 годовой дозы облучения, получаемой людьми от земных источников радиации и примерно за половину этой дозы от всех природных источников. Установлено, что основная часть облучения происходит от дочерних продуктов распада радона - изотопов свинца, висмута и полония. Продукты распада радона попадают в легкие человека вместе с воздухом и задерживаются в них. Распадаясь, выделяют альфа-частицы, поражающие клетки эпителия. Распад ядер радона в легочной ткани вызывает микроожоги, а повышенная концентрация газа в воздухе может привести к раку. Также альфа-частицы вызывают повреждения в хромосомах клеток костного мозга человека, что увеличивает вероятность развития лейкозов. К сожалению, наиболее уязвимы для радона самые важные клетки - половые, кроветворные и иммунные. Частицы ионизирующей радиации повреждают наследственный код и, притаившись, никак себя не проявляют, до тех пор, пока «больной» клетке не настанет время делиться или создавать новый организм - ребенка. Тогда речь может идти о мутации клеток, приводящей к сбоям в жизнедеятельности человека.

**Радон в доме**

В дом радон может попасть разными путями: Из недр Земли; из стен и фундамента зданий, т.к. строительные материалы (цемент, щебень, кирпич, шлакоблоки) в разной степени, в зависимости от качества, содержат дозу радиоактивных элементов; вместе с водопроводной водой и природным газом. Так как этот газ тяжелее воздуха, он оседает и концентрируется в нижних этажах и подвалах. Самый значимый путь накопления радона в помещениях связан с выделением радона из почвы, на которой стоит здание. Большую опасность представляет поступление радона с водяными парами при пользовании душем, ванной, парной. Он содержится и в природном газе, и поэтому на кухне необходимо устанавливать вытяжку, чтобы предотвратить накапливание и распространение радона. В 1995 году в нашей стране принят федеральный закон «О радиационной безопасности населения» и действуют специальные нормы радиационной безопасности. По нему следует, что при проектировании здания среднегодовая активность изотопов радона в воздухе не должна превышать 100 бк/куб.м (беккерелей на метр кубический). В жилых квартирах не более 200 бк/куб.м, иначе встает вопрос о проведении защитных мероприятий, а если значение достигает 400 бк – здание должно быть снесено или перепрофилировано. Сейчас многие люди приобретают личные дозиметры, чтобы измерить общий фон радиации в квартире. Но для измерения уровня радона он бесполезен, тут необходимо вызывать специалистов с радиометром радона. Если вы хотите самостоятельно обезопасить свое жилище от вредного газа, вам следует заделать щели в стенах и полах, поклеить обои, загерметизировать подвальные помещения и просто чаще проветривать комнаты в вашем доме, замечу, что концентрация радона в непроветриваемом помещении в 8 раз больше.

**Польза радона**

Но в природе нет ничего лишнего и помимо важных исследований в области химии и физики, радон используется во многих сферах человеческой жизни. Его используют в медицине для приготовления «радоновых ванн», в сельском хозяйстве для активации кормов домашних животных, в металлургии в качестве индикатора для определения скорости газовых потоков в доменных печах и газопроводах. Геологи с его помощью находят залежи радиоактивных элементов. Сейсмологи, анализируя выход радона из почв, могут спрогнозировать сильные землетрясения и извержения вулканов. Поэтому при успешных и своевременных мерах защиты даже такую «химеру» можно заставить служить человечеству.

**Определение среднегодового значения ЭРОА изотопов радона**

**в воздухе помещений**

Радиометрия радона включает в себя определение объемной активности радона и торона как альфа- активных инертных газов и определение эквивалентной равновесной объемной активности их дочерних продуктов распада, которые находятся в воздухе в виде свободных атомов (ионов) или в виде аэрозолей, являющихся источниками альфа-, бета- и фотонного излучения.

**Альфа- активные газы и аэрозоли и их основные источники:**

Одной из основных задач радиометрии радона является контроль объемной активности альфа-активных газов (эманаций) и аэрозолей. Эманации — это газообразные радиоактивные продукты распада естественных изотопов радия. Альфа- активные газы радон и торон, а также аэрозоли, образованные дочерними продуктами распада радона (ДПР) и торона (ДПТ), являются важнейшими составляющими природного радиационного фона, воздействующего на человека.

Земная кора содержит альфа-бета-активные уран-238 и торий-232, которые являются родоначальниками радио-активных семейств радионуклидов рядов урана и ряда тория. Продуктом распада 238U является альфа-активный 226Ra с периодом полураспада 1602 года, из которого в результате распада образуется инертный газ радон-222. Радон-222 распадается с периодом 3,82 суток, испуская альфа-частицу с энергией 5,49 МэВ и образуя ряд дочерних продуктов распада радона (ДПР), основными из которых являются RaA (218Po), RaB (214Pb) и RaC (214Bi). Дочерние продукты распада отличаются от радона химической природой, массой, меньшим периодом полураспада и наличием электрического заряда. Если радон является инертным газом, то ДПР имеют положительный заряд и могут притягиваться и прилипать к пылинкам в воздухе, образуя радиоактивные аэрозоли. Полоний-218 распадается с периодом 3,04 мин, испуская альфа-частицу с энергией 6 МэВ. Другие члены этой цепочки (ДПР) также распадаются с испусканием альфа- и бета-частиц и фотонного излучения. Период полураспада свинца-214 составляет 26,8 мин, висмута-214 19,7 мин. Конечным продуктом уранового ряда является стабильный свинец-206 (206Pb).

Торий-232 является родоначальником цепочки ториевого ряда. Наибольший интерес из него представляет Радий-224, распадающийся с периодом полураспада 3,64 суток с образованием торона (радон-220). Торон распадается с периодом 54,5 с, испуская альфа-частицу с энергией 5,6 МэВ и образуя дальнейшую цепочку альфа- распада с наиболее известными изотопами, образующими радиоактивные аэрозоли: ThA (216Ро), ThB (212Рb), ThC (212Bi) — так называемые дочерние продукты торона (ДПТ). Конечным продук-том в ториевом ряду является стабильный свинец-208.

Эманации и продукты их распада поступают в атмосферу из почвы, горных пород, вод подземных источников и распространяются в атмосфере c воздушными течениями и путем диффузии. С высотой концентрация эманации уменьшается из-за распада. Причем, концентрация радона намного выше (в 10-20 раз), чем концентрация торона, поэтому радиационную опасность в большинстве случаев представляет именно радон и продукты его распада, наиболее опасными из которых являются альфа-частицы с энергией от 5 до 6 МэВ. В связи с этим в дальнейшем в основном рассматриваются именно вопросы измерения радона и ДПР и лишь в некоторых случаях торона и ДПТ.

Основная опасность радона и ДПР (аэрозолей) связана с воздействием испускаемых ими альфа-частиц на верхние дыхательные пути и легкие человека при вдыхании содержащего их воздуха. Это приводит к увеличению заболеваний раком легких, неблагоприятных генетических эффектов и к патологическим нарушениям системы кроветворения. До 50 % дозы облучения населения от природных источников обусловлено радоном и ДПР, при этом они являются причиной до 25 % общего количества рака легких.

Впервые связь частоты заболеваний раком легких с концентрацией радона была выявлена в 50-х годах прошлого века у шахтеров. После того, как были обнаружены высокие концентрации радона и в жилых домах, было осознано, что радон представляет опасность не только для шахтеров. В 1977 г. научным комитетом по воздействию атомной радиации ООН радон был определен как основной источник радиационной опасности для населения. В 1994 г. в РФ была принята Федеральная целевая программа снижения уровня облучения персонала и населения от природных источников ионизирующего излучения (программа «Радон»). Проблема радона была признана в 1996 г. приоритетной среди Радиологических программ. В связи с этим в последнее десятилетие проводятся интенсивные работы по разработке методов и средств измерений для радиационного контроля радона, торона и их дочерних продуктов, по нормированию уровней содержания радона и торона в жилых и производственных помещениях и по обследованию на радоновую опасность земельных участков, отводимых под строительство зданий.

**Основными источниками радона в жилых помещениях являются**: стройматериалы и грунт под зданием (60 %), наружный воздух (10 %), вода (4 %) и природный газ (3 %). Например, при работе горячего душа концентрация радона в помещении увеличивается в 19 раз и остается на высоком уровне более часа после выключения душа. Так как радон тяжелее воздуха, он в основном скапливается в подвальных помещениях, где концентрация его существенно выше, чем на других этажах. В жилых домах основным источником радона является почва под зданием, из которой происходит эксхаляция (выделение) радона.

**Величины для нормирования радоновой опасности:**

Изотопы радона (радон и торон) и их короткоживущие дочерние продукты (ДПР и ДПТ) создают значимые дозы облучения персонала и населения за счет внутреннего облучения. Однако дозиметрические модели облучения органов дыхания персонала ДПР обладают большой неопределенностью, поэтому для персонала дозиметрия радона и ДПР сводится к его радиометрии (определению объемной активности) с последующим переходом к эффективной дозе путем расчета через установленные коэффициенты. Таким образом, нормируемой величиной для облучения персонала за счет ДПР и ДПТ является эффективная доза. Однако контроль радиационной опасности ДПР и ДПТ осуществляется с помощью операционных величин, которые рассматриваются ниже.

**Основные величины для оценки и нормирования радиационной опасности радона:**

- объемная активность радона отношение активности радона, находящегося в данном объеме, к объему, ОАRn, Бк/м3;

- эквивалентная равновесная объемная активность радона - объемная активность радона (торона) в равновесии с его дочерними продуктами;

- плотность потока радона активность радона, проходящего через единицу поверхности в единицу времени, ППР, Бк/(м2 с);

В радиоактивном равновесии между радоном и ДПР объемные активности ДПР равны между собой. Так, в замкнутом сосуде равновесие наступает через 3 часа. В таком случае поглощенная доза от радона составляет около 0,01 суммарной дозы радона и ДПР. При этом дозы от RaA, RaB и RaC находятся в соотношении 0,10:0,52:0,38, представляющем относительные вклады этих ДПР в общую поглощенную дозу в органах дыхания. В реальных условиях в воздухе помещений ДПР, как правило, не находятся в равновесии. Обычно равновесие сдвигается в сторону преобладания атомов RaA, что обусловлено различной продолжительностью жизни ДПР, проветриванием помещений, осаждением аэрозолей и т.д. При этом объемная активность радона уже не полностью характеризует радиационную опасность, поэтому была введена величина ЭРОА.

В соответствии с НРБ-99 в зданиях и сооружениях контролируемой величиной является среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) изотопов радона (222Rn радона и 220Rn торона) Cэкв в Бк/м3, представляющей собой объемную активность радона условной смеси, короткоживущие дочерние продукты распада которого находятся в равновесии:

Cэкв = ЭРОАRnм+ 4,6 ЭРОАTn ,

где ЭРОАRn = 0,104 (ОА)RaA + 0,514 (OA)RaB + 0,382 (OA)RaC;

ЭРОАTn = 0,913 (ОА)ThB +0,087 (ОА)ThC; (ОА)i объемные активности дочерних изотопов радона.

Объемные активности радона-222 и радона-220 (торона) связаны со значениями ЭРОА соотношениями:

ЭРОАRn = ОАRn FRn,

ЭРОАTn = ОАTn FTn,

где FRn, FTn коэффициенты радиоактивного равновесия между радоном и его дочерними продуктами распада (ДПР) и тороном и его дочерними продуктами распада (ДПТ) в воздухе соответственно.

Коэффициент равновесия для радона-222 FRn имеет суточные, сезонные, погодные и другие вариации (например, в зависимости от типа здания, проветривания и т.п.) и изменяется в пределах 0,1 - 0,9. При отсутствии экспериментальных данных о значении этого коэффициента рекомендуется применять его значение, равное 0,5.

Для радона-220 коэффициент равновесия (FTn) варьируется в более узких пределах от 0,01 до 0,10. Однако так как вклад объемной активности дочерних продуктов торона (ДПТ) в среднегодовую ЭРОА изотопов радона не превышает 10 %, то их точная оценка не требуется.

Содержание радона в воздухе нормируется по величине среднегодовой ЭРОА, которая не должна превышать для эксплуатируемых помещений 200 Бк/м3, а для проектируемых —100 Бк/м3.

Другой нормируемой величиной, которая является критерием радоновой опасности территорий, является плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта, которая представляет собой активность радона, проходящего через единицу поверхности в единицу времени и имеет единицу измерения Бк/(м2 с). В ОСПОРБ-99 указывается, что для строительства зданий производственного назначения ППР не должна превышать 250 мБк/(м2 с), а для жилых домов и зданий социально-бытового назначения не более 80 мБк/(м2 с). При превышении ППР должна быть предусмотрена система защиты от радона (монолитная бетонная подушка, улучшенная изоляция перекрытий подвала и т.п.).

**Определение среднегодовой ЭРОА радона для оценки соответствия**

**нормативным требованиям**

Условия проведения измерений: в помещениях должны быть установлены и закрыты все окна и двери, смонтирована и включена в штатном режиме система вентиляции (если она предусмотрена проектом), закончены (или приостановлены) внутренние отделочные работы, производство которых обычно связано с периодическим открыванием окон и дверей, предварительная выдержка здания при закрытых окнах и дверях (как в помещениях, так и в подъездах) не менее 12 ч.

Оценка среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе здания проводится по формуле:

, Бк/м3

в которой ΔRn и ΔТn абсолютная погрешность определения ЭРОА радона и торона в воздухе соответственно, которая рассчитывается по формуле:

, Бк/м3, где C - измеренное значение ЭРОА радона (торона) в воздухе (Бк/м3),

δ - относительная погрешность результата измерения (%), принимаемая по свидетельству о поверке средств измерений или свидетельству о метрологической аттестации методики выполнения измерений.

Численное значение коэффициента в формуле зависит от температуры внутри и снаружи контролируемого помещения, атмосферного давления, силы и направления ветра в период проведения измерений, а также от среднегодовых значений этих же величин. В силу этого конкретные значения коэффициента имеют региональные особенности и определяются периодом года, когда проводятся измерения. **Значение коэффициента принимается равным 1 для зимнего периода года и 1,3 - для летнего.** Летний коэффициент применяют, когда среднесуточная температура воздуха выше 9 градусов Цельсия.

Измерения ЭРОА торона проводятся не менее чем в 5% обследуемых помещений. Если по результатам этих измерений выполняется условие:



то измерения ЭРОА торона в воздухе остальных помещений здания допускается не проводить, а проверку выполнения условия (6) осуществляют с использованием среднего значения ЭРОА торона по результатам выполненных измерений.

Минимальный объем контроля должен составлять:

- для односемейных домов, школьных и дошкольных детских учреждений измерения проводятся во всех помещениях для постоянного пребывания людей;

- в многоквартирных домах при числе квартир до 10 и зданиях и сооружениях общественного и производственного назначения при числе помещений для постоянного пребывания людей до 30 оптимальное число квартир (помещений), где проводятся измерения, может составлять 25% от общего числа;

- в многоквартирных домах при числе квартир до 100 и зданиях и сооружениях общественного и производственного назначения при числе помещений для постоянного пребывания людей до 100 оптимальное число квартир (помещений), где проводятся измерения, может составлять 25% от общего числа;

- при числе квартир в жилом здании (помещений для постоянного пребывания людей в зданиях и сооружениях общественного и производственного назначения) свыше 100 до 1000 оптимальное число квартир (помещений), где проводятся измерения, может составлять 5% от общего числа, но не менее 20 квартир (помещений);

- при большем числе квартир (помещений для постоянного пребывания людей в зданиях и сооружениях общественного и производственного назначения) оптимальное число обследуемых квартир (помещений), где проводятся измерения, может составлять 50 квартир (помещений).

В жилых многоэтажных домах (общественных и производственных зданиях) в число контролируемых следует включать квартиры (помещения) на каждом этаже и в каждом подъезде. Число и расположение подлежащих обследованию помещений выбирают исходя из того, что обследоваться должны по возможности все типы помещений, функционально имеющих различное назначение. При этом наибольшую долю от всех выбранных для обследования должны составлять помещения, в которых люди проводят наибольшее количество времени. В жилых домах, если нет на то особых оснований, измерения не проводят в ванных и туалетных комнатах, кухнях и кладовых.

При наличии в здании подвального этажа измерения ЭРОА изотопов радона следует начинать с подвальных помещений. Результаты этих измерений используются для корректировки объема контроля и выбора квартир (помещений) для обследования. Если измеренные значения ЭРОА изотопов радона в воздухе подвальных помещений превышают 100 Бк/м3, то в число контролируемых включаются все квартиры (помещения постоянного пребывания людей) на первом этаже, а число контролируемых квартир (помещений) на втором и последнем этаже здания удваивается.

В каждой обследуемой квартире (помещении) проводится одно измерение ЭРОА изотопов радона. Отбор проб воздуха при мгновенных измерениях ЭРОА изотопов радона или установку квазиинтегральных или интегральных средств измерений ОА радона производят на высоте 1 - 2 м от пола не ближе 0,5 м от стен помещения. При размерах обследуемого помещения более 100 м2 количество измерений увеличивается из расчета одно измерение на каждые 200 м2.

Измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по возможности следует проводить при наиболее высоком для данной местности барометрическом давлении и слабом ветре.

Если для всех обследованных помещений (не считая технических помещений в подвальных этажах) в жилых домах и общественных зданиях и сооружениях выполняется условие:

Ссг < 100, Бк/м3, (1)

в котором численное значение коэффициента K(t, h, ) принимается в зависимости от времени года, то здание считается соответствующим требованиям НРБ-99/2009 по ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений.

Если по результатам мгновенных измерений для отдельных обследованных помещений (не считая технических помещений в подвальных этажах) не выполняется условие, но при этом во всех них выполняется соотношение:

, Бк/м3, (2)

то в них проводят повторные измерения ОА радона с использованием квазиинтегральных средств измерений с экспозицией не менее 3 суток или многократно повторяя мгновенные измерения с последующим усреднением результатов измерений.

Если в результате измерений установлено, что в отдельных помещениях одновременно не выполняются условия (1) и (2), то измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе проводят во всех квартирах жилых домов или основных помещениях общественных зданий и сооружений. При этом в тех квартирах (помещениях), для которых не выполняются условия (13) и (14), проводят дополнительные исследования по поиску источников поступления радона в них, а также разработку и осуществление мероприятий по снижению ЭРОА изотопов радона в воздухе. После реализации мероприятий по снижению содержания радона в воздухе помещений проводятся повторные измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений в соответствии с вышеизложенными указаниями.

**Примеры расчета.**

Из измерений ЭРОА радона и торона:

Измерено ЭРОА**Rn =** 50 Бк/м3; ЭРОА**Тn =** 3 Бк/м3; тогда

Ссг = (50+15+4,6\*(3+0,9))\*1,0 = 83 Бк/м3, помещение соответствует требованиям НРБ-99/2009;

где Δ = 30%\*ЭРОА/100% и K(t,h,v) = 1,0 (в зависимости от времени года).

Из измерений ОА радона: ОА**Rn**  = 60 Бк/м3,

ЭРОА**Rn** = 0,5\*60=30 Бк/м3, ЭРОА**Тn** = 0,02\*30 = 6 Бк/м3

Ссг = (30+9+4,6\*(6+1,8))\*1,3 = 97 Бк/м3, помещение соответствует требованиям НРБ-99/2009