

2.2 МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДОНОВЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Объективная и надежная оценка ситуации облучения – необходимый этап обоснования и оптимизации радиационной безопасности при обращении с любым источником ионизирующего излучения. Уровни облучения населения радоном достаточно надежно могут быть определены по данным измерений ОА радона и/или его ДПР радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий, а также на рабочих местах. Для решения задач защиты населения в производственных и коммунальных условиях от радона в качестве первоочередного мероприятия проводят обследование зданий и рабочих мест.

Различают контроль облучения населения радоном в отдельных зданиях и оценку уровней облучения населения территории (населенного пункта, района, субъекта РФ или страны) в целом [МР 2.6.1.0088-14]. В настоящей главе рассмотрены задачи и методические подходы, которые ставятся и применяются в этих двух основных видах радоновых обследований.

2.2.1. Радиационное обследование зданий

При радиационном обследовании отдельных зданий на содержание радона в воздухе помещений различают два основных типа зданий: новые здания, сдающиеся в эксплуатацию после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции, и эксплуатируемые здания с длительным или постоянным пребыванием в них людей. Возможности и условия оценки соответствия этих двух типов зданий установленным гигиеническим нормативам для зданий жилищного, общественного и производственного назначения по среднегодовым уровням ЭРОА изотопов радона принципиально отличаются.

Для новых зданий практически невозможно выполнить прямые инструментальные измерения для определения среднегодового значения ОА радона или ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ввиду того, что, по понятным причинам, эти измерения не могут быть интегральными и длиться более нескольких дней. В них также сложно воспроизвести реальные условия эксплуатации зданий в будущем, когда они будут использоваться в штатном режиме. Поэтому радиационное обследование новых зданий предполагает не определение среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, а получение «консервативной» оценки, т.е. его максимально-возможного значения.

Радиационное обследование эксплуатируемых зданий проводится для радиационно-гигиенической паспортизации территорий и/или контроля и учета индивидуальных доз облучения, в рамках осуществления текущего санитарно-эпидемиологического надзора для социально-гигиенического мониторинга или иных программ, а также по заявкам отдельных граждан. В некоторых случаях радоновое обследование отдельных эксплуатируемых зданий проводится для уточнения среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений для принятия решения о необходимости проведения радонозащитных мероприятий. Однако, независимо от целей радиационного обследования эксплуатируемых зданий, измерения содержания радона в воздухе помещений проводятся в штатном режиме эксплуатации и при необходимости могут продолжаться сколько угодно долго. Исходя из этого, можно говорить, что среднегодовые значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений в эксплуатируемых зданиях определяются по данным прямых инструментальных измерений.

По понятным причинам измерения содержания радона в воздухе помещений всех жилых единиц в многоквартирных домах или помещениях общественных и производственных зданий и сооружений не представляется возможным. Объем радиационного контроля новых зданий должен быть минимально необходимым, однако достаточным для принятия решения о

соответствии/несоответствии гигиеническим требованиям нормативных документов по радиационной безопасности принимаемых в эксплуатацию новых зданий.

Учитывая сказанное, краткое описание методических подходов к радиационному обследованию новых и эксплуатируемых зданий приведено отдельно. При этом подходы одинаковы для зданий и сооружений жилищного, общественного и производственного назначения, хотя допустимые уровни по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона в них и разные [СанПиН 2.6.1.2523-09].

2.2.1.1. Радиационное обследование новых зданий

Как указано выше, основной целью радиационного обследования зданий и сооружений, сдающихся в эксплуатацию после окончания строительства, капитального ремонта и реконструкции, является оценка максимально возможного среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений при последующей их эксплуатации.

Согласно МУ 2.6.1.2838-11, оценку соответствия здания установленным гигиеническим нормативам среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений допускается проводить по результатам краткосрочных измерений показателя. При этом оценку верхней границы среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе определяют при обязательном соблюдении целого ряда условий. В частности, в здании должны быть смонтированы и закрыты все окна и двери. Если проектом строительства здания предусмотрена установка системы вентиляции с механическим побуждением, то в период измерений она должна работать в штатном режиме, в здании должны быть приостановлены любые виды работ. И в таком состоянии оно должно быть выдержано не менее 12 часов до начала измерений. 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 100–200 м².

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

С учетом соблюдения этих условий оценка соответствия максимального среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений установленному нормативу проводится по следующему условию:

$$[\text{ЭРОА}_{Rn} + \Delta_{Rn} + 4,6 \cdot (\text{ЭРОА}_{Tn} + \Delta_{Tn})] \cdot K(t, h, v) \leq 100, \text{ Бк/м}^3 \quad (2.2.1)$$

где ЭРОА_{Rn} и Δ_{Rn} – соответственно измеренное значение ЭРОА радона и погрешность измерения, Бк/м³;

ЭРОА_{Tn} и Δ_{Tn} – то же для торона;

$K(t, h, v)$ – коэффициент сезонности, учитывающий региональные особенности; до получения функциональной зависимости от параметров, определяющих его значение, значение коэффициента принимается равным 1,0 для зимнего периода года и 1,3 – для летнего.

В условии (2.2.1) допустимое значение среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений производственных зданий и сооружений, сдающихся в эксплуатацию после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции составляет 150 Бк/м³.

В методических указаниях МУ 2.6.1.2838-11 установлены требования к объему измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе зданий при сдаче их в эксплуатацию. Измерения ЭРОА радона и торона в помещениях проводят выборочно, при этом общий объем контроля должен быть достаточным для выявления всех помещений в здании, в которых может быть нарушено условие (2.2.1), а также для оценки максимальных значений ЭРОА в типичных помещениях (по функциональному назначению, занимаемой

площади, на этаже, в подъезде, а также по типу использованных строительных материалов). Число квартир (помещений) выбирается в зависимости от этажности здания, общего числа квартир (помещений), наличия достоверных сведений о показателях радиационной безопасности земельного участка, содержании природных радионуклидов в строительном сырье и материалах и других характеристик здания.

Если имеются документальные сведения о соответствии показателей радиационной безопасности земельного участка под строительство здания требованиям пп. 5.1.6 и 5.2.3 ОСПОРБ 99/2010 [СП 2.6.1.2612-10], а строительного сырья и материалов, использованных при строительстве здания, требованиям п. 5.3.4 НРБ-99/2009 [СанПиН 2.6.1.2523-09], то объем контроля выбирается минимальным в соответствии с рекомендациями для зданий различного назначения и количества квартир.

В жилых многоэтажных домах (общественных и производственных зданиях) в перечень контролируемых следует включать квартиры (помещения) на каждом этаже и в каждом подъезде. Количество 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 ваннных 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.

В МУ 2.6.1.2838-11 также установлен порядок санитарно-эпидемиологической оценки результатов измерений в разных ситуациях (рис. 2.2.1). В частности, если по данным измерений ЭРОА изотопов радона в

воздухе отдельных помещений экспрессными методами не выполняется условие (2.2.1), но при этом для них выполняется условие:

$$\text{ЭРОА}_{Rn} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{Tn} \leq 100 \quad , \text{ Бк/м}^3 \quad (2.2.2)$$

то для принятия окончательного решения о соответствии (несоответствии) помещений установленным нормативам в документе предписано проведение квазиинтегральных измерений ОА радона с экспозицией не менее 3 суток или многократные измерения экспрессными методами.

Если в результате повторных измерений установлено, что в этих помещениях условие (2.2.1) выполняется, то здание считается соответствующим требованиям НРБ-99/2009 [СанПиН 2.6.1.2523-09] по среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений. Если по результатам квазиинтегральных измерений установлено, что в отдельных помещениях условие (2.2.1) не выполняется, то в них проводят повторные измерения ОА радона с использованием интегральных средств измерений с экспозицией не менее 15 суток.

Для пересчета измеренных значений ОА радона в значения ЭРОА радона используется коэффициент F_{Rn} , характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР в воздухе:

$$\text{ЭРОА}_{Rn} = \text{ОА}_{Rn} \cdot F_{Rn} \quad (2.2.3)$$

Значения F_{Rn} определяют экспериментальным путем по результатам специальных многократных измерений ОА и ЭРОА радона в воздухе помещений [МУ 2.6.1.037–2015; МУ 2.6.5.062–2017]. При отсутствии инструментальных данных значение F_{Rn} принимают равным 0,5 [МУ 2.6.1.2838-11].

Если в результате измерений установлено, что в отдельных помещениях одновременно не выполняются условия (2.2.1) и (2.2.2), то измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе проводят во всех квартирах жилых домов или основных помещениях общественных зданий и сооружений.

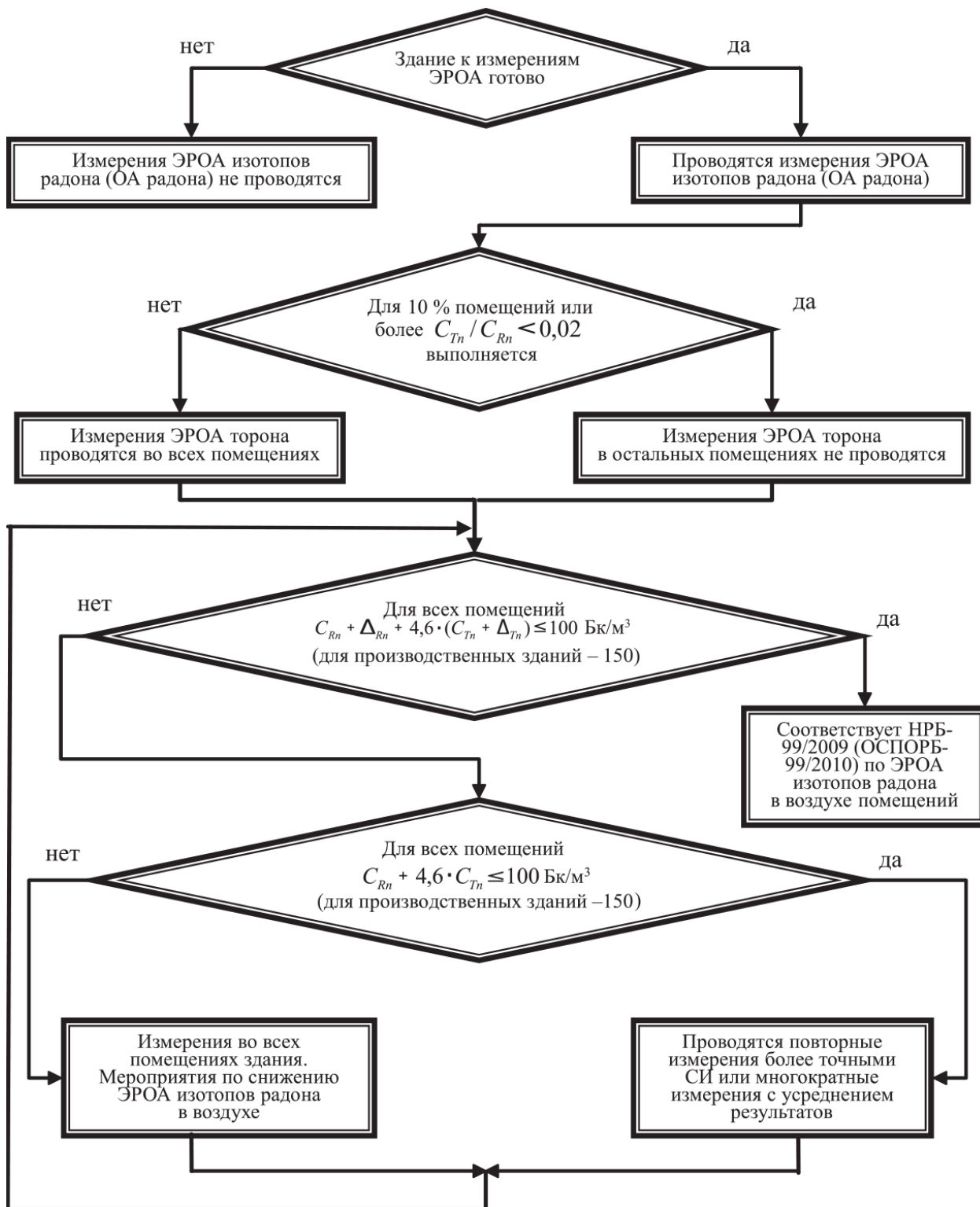


Рисунок 2.2.1 – Порядок контроля ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений зданий, сдающихся в эксплуатацию после окончания строительства, капитального ремонта и реконструкции [МУ 2.6.1.2838-11]

При этом в тех квартирах (помещениях), для которых не выполняются условия (2.2.1) и (2.2.2), 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. Методические подходы к обследованию объектов с высокими уровнями содержания радона в помещениях представлены в МУ 2.6.5.062–2017 и подробно изложены в разделе 2.2.3.

2.2.1.2. Радиационное обследование эксплуатируемых зданий

Целью радиационного обследования эксплуатируемых зданий и сооружений может быть:

- оценка соответствия текущих среднегодовых уровней ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений установленным гигиеническим нормативам;
- определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений для оценки доз облучения населения в коммунальных условиях или работников на рабочих местах.

Как правило, определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений с целью оценки соответствия зданий и сооружений установленным гигиеническим нормативам проводится в рамках осуществления текущего санитарно-эпидемиологического надзора органами и организациями Роспотребнадзора, по индивидуальным заявкам владельцев частных домов и квартир, участников рынка недвижимости и т.д. Корректнее всего в таких случаях измерения ОА радона в воздухе помещений для оценки среднегодовых уровней ЭРОА радона проводить интегральными методами в штатном режиме эксплуатации зданий. При этом оценка соответствия здания установленным гигиеническим нормативам фактически может проводиться по условию (2.2.1), при значении коэффициента сезонности, равном 1,0:

$$ЭРОА_{Rn} + \Delta_{Rn} + 4,6 \cdot (ЭРОА_{Tn} + \Delta_{Tn}) \leq 200 \quad , \text{ Бк/м}^3 \quad (2.2.4)$$

где обозначения те же, что и в условии (2.2.1).

В условии (2.2.4) допустимое значение среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений эксплуатируемых производственных зданий и сооружений составляет 300 Бк/м³.

В целом, по состоянию на 2022 г. процедура проведения обследования эксплуатируемых зданий и сооружений и оценки соответствия показателей радиационной безопасности установленным нормативам не определена ни одним методическим документом Роспотребнадзора. Однако, в соответствии с п. 7.4 ГОСТ 8.638–2013, решение о соответствии контролируемого параметра установленному нормативу принимают с учетом оцененной неопределенности измерений. По этой причине учет погрешности (неопределенности) измерения ЭРОА радона и торона в условии (2.2.4) является абсолютно корректным.

Определение среднегодовых значений ОА радона или ЭРОА радона в воздухе помещений эксплуатируемых зданий и сооружений любого назначения имеет следующие особенности. Экспозиметры в обследуемых помещениях в соответствии с [МВИ 2.6.1.003-99] и [МУ 2.6.5.062–2017] размещают в местах, удаленных от окон и отопительных приборов на высоте 1–2 м над уровнем пола. Для каждого обследуемого помещения фиксировали строительно-конструкционные и другие характеристики, которые оказывают влияние на накопление радона. По каждому объекту оператором или владельцем объекта (помещения) заполняется паспорт измерения, в котором фиксируются сведения о методе и средствах измерений, адрес обследуемого объекта и (по возможности) его координаты в системе GPS или ГЛОНАСС, назначение территории и объекта, строительные и некоторые другие характеристики объекта и обследуемого помещения, дата измерения, инспекционные значения ОА и ЭРОА радона, уровень гамма-фона, по окончании обработки результатов – результаты интегрального измерения.

В жилых единицах (квартиры, индивидуальные дома и т. п.) обычно рекомендуется выбирать помещения, в которых жители проводят наибольшее время (спальни, гостиные и т. д.).

В производственных зданиях и сооружениях существенно более разнообразным может быть спектр помещений по их функциональному назначению, расположению и числу рабочих мест. Поэтому выбор помещений для измерений в эксплуатируемых производственных зданиях и сооружениях сложнее, чем в жилых зданиях (см. пп. 12 и 13 [МВИ 2.6.1.003-99]). Для оптимального выбора контрольных точек производственные помещения целесообразно разбить на участки, в пределах каждого из которых максимальное отклонение от среднего значения ЭРОА радона в контрольных точках составляет не более 30%. Предварительно границы участков в пределах производственного помещения определяют на основании результатов рекогносцировочной серии мгновенных измерений ОА и/или ЭРОА, которые проводятся по возможности в течение одной рабочей смены¹. На каждом участке определяют места контрольных точек, которые характеризуются наибольшей значимостью по длительности пребывания работников и/или максимальным значениям радона. Сеть контрольных точек выбирают в соответствии с существующим характером и расположением индивидуальных рабочих мест, маршрутами передвижения работников и схемой проветривания (вентиляции), а в дальнейшем периодически уточняют по мере изменения объема и характера работ на отдельных участках.

¹ Рекомендуется проводить одновременные измерения ОА и ЭРОА в каждой контрольной точке для получения данных, необходимых для определения локальных коэффициентов равновесия между радоном и его ДПР.

2.2.1.3. Особенности проведения измерений содержания радона в воздухе эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей

По состоянию на 2022 г. методические указания по проведению радиационного контроля и санитарно-эпидемиологической оценки параметров радиационной обстановки в эксплуатируемых общественных зданиях отсутствуют. Не регламентирован выбор и приоритетность использования того или иного метода при проведении измерений содержания радона в воздухе помещений таких зданий. Как правило, в рамках проведения контрольно-надзорных мероприятий специалисты ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в субъектах РФ руководствуются (ввиду отсутствия других утвержденных методических документов) МУ 2.6.1.2838-11, предназначенными для проведения радиационного контроля общественных зданий и сооружений только при сдаче их в эксплуатацию после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции. Для проведения измерений, чаще всего, используются экспрессные методы определения ЭРОА изотопов радона в воздухе, а помещения при этом подготавливаются для измерений в соответствии с требованиями п. 6.5 указанных МУ, т.е. здание и помещения предварительно выдерживаются при закрытых окнах, дверях и штатном режиме работы принудительной вентиляции (при ее наличии) не менее 12 часов. С учетом того, что, как правило, в рамках контрольно-надзорных мероприятий обследуются детские учреждения, расположенные в зданиях старой постройки, в которых система приточно-вытяжной вентиляции отсутствует как таковая или давно не функционирует, выполнение требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 приводит здание и помещения в состояние, не соответствующее их нормальному режиму эксплуатации, что в итоге ведет к регистрации более высоких значений содержания радона [Васильев и др., 2021].

Как известно, достоверность оценки нормируемого показателя – среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений – увеличивается

с ростом продолжительности измерения. По этой причине в МУ 2.6.1.2838-11 методы измерения ранжированы в порядке возрастания достоверности определения этого показателя следующим образом: экспрессные (мгновенные, инспекционные, кратковременные), квазиинтегральные и интегральные. Однако, в случае проведения обследований эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей (например, детских учреждений) необходимо принимать во внимание, что критерием принятия решения о несоответствии помещений установленному нормативу должно быть не просто среднегодовое содержание радона в воздухе помещений, а среднее его содержание именно в те периоды времени, когда сотрудники и воспитанники находятся в здании [Васильев и др., 2021].

Для проведения крупномасштабных радоновых обследований широкое применение в России и за рубежом получили пассивные интегральные методы, которые позволяют получить среднее значение ОА радона за все время экспонирования интегральных трековых радиометров радона (трековых экспозиметров). Но, к сожалению, данные методы не позволяют оценить уровень содержания радона в отдельно взятые периоды обследования, как, например, при использовании автоматических радоновых мониторов. Регистрация треков альфа-частиц в трековых экспозиметрах происходит и в ночное время, и в выходные и праздничные дни, и в период каникул, то есть в периоды фактического отсутствия в зданиях детских учреждений сотрудников и/или детей, когда предусмотренное санитарными правилами [СП 2.4.3648-20; СанПиН 1.2.3685-21] регулярное проветривание не осуществляется, вентиляция с механическим побуждением может быть выключена, что в совокупности может приводить к росту ОА радона в воздухе помещений. Таким же недостатком обладает и квазиинтегральный метод измерений, основанный на сорбции радона активированным углем. Из этого следует, что интегральные и квазиинтегральные методы завышают реальные значения содержания радона в воздухе помещений в часы

присутствия людей, рассчитанные на их основе дозы и соответственно риски развития радон-индуцированного рака легкого [Васильев и др., 2021].

Основная проблема экспрессных методов заключается в том, что измеренное с их помощью значение отражает ситуацию с содержанием радона и его ДПР в воздухе только в конкретный момент времени, поскольку оно подвержено значительной суточной, недельной и сезонной вариабельности, основными причинами которой являются изменение метеорологических условий и режима эксплуатации помещения. Таким образом, результаты единичных измерений ЭРОА изотопов радона, проведенных экспрессными методами, с большой долей вероятности также не отражают среднее значение величины в рабочие дни и часы [Васильев и др., 2021].

В последние годы проблема, связанная с переоценкой экспозиции населения и работников радоном при нахождении в общественных зданиях с некруглосуточным пребыванием людей вследствие использования трековых экспозиметров (являющихся в большинстве стран стандартом «де-факто» для проведения радоновых обследований), находится в фокусе внимания различных научных коллективов [Rydock et al., 2001; Venoso et al., 2021; Guide for Radon ..., 2016]. Возможные подходы к осуществлению радиационного контроля в эксплуатируемых общественных зданиях с некруглосуточным пребыванием людей будут представлены в актуализированной версии МУ 2.6.1.2838-11, запланированной к утверждению в 2023-2024 гг. [Васильев и др., 2021].

Для проведения интегральных измерений ОА радона в такой и любой другой «посменной» ситуации разработаны в сотрудничестве с НТЦ РХБГ и выпущены ООО «ГК РЭИ» опытные партии интервальных трековых радиометров радона ИЭ-2 и ИЭ-4, позволяющих проводить отдельные измерения ОА радона, усредненные по разным периодам [Патент на изобретение № 2731592; Marennyu et al., 2022].

2.2.1.4. Особенности проведения измерений содержания радона в воздушной среде урановых рудников

Характерная для урановых рудников значительная изменчивость параметров радиационной обстановки и профмаршрутов отдельных категорий персонала во времени и пространстве вынуждают при выборе пунктов контроля и оценке профмаршрутов использовать некоторые упрощения. Они касаются, прежде всего, определения для каждого вида профессиональной деятельности понятия «рабочего места» и порядка вычисления среднего уровня радиационно опасного фактора (РОФ) на этом «рабочем месте» в течение контролируемого интервала времени [МУ 2.6.1.11-01]. Главное упрощение заключается в минимизации общего количества пунктов контроля, необходимых для оценки радиационной обстановки на каждом «рабочем месте», при условии, что полученная оценка среднего уровня РОФ не окажется существенно заниженной. На практике можно не учитывать участки профмаршрутов, суммарный вклад которых в общую экспозицию не превышает 10%. Для определения уровня ЭРОА изотопов радона на «рабочем месте» следует располагать один или несколько пунктов контроля таким образом, чтобы рассчитанное по результатам измерений в этих пунктах среднее значение ЭРОА было возможно ближе к средневзвешенному по времени пребывания данной группы лиц значению этого фактора в пределах этого «рабочего места». Степень выполнения этого условия следует проверять экспериментально, сравнивая экспозиции, рассчитанные по данным инспекционных измерений, с экспозициями этих же лиц, определенными с помощью носимых приборов.

Количество отработанных отдельными лицами смен на каждом «рабочем месте» в течение контролируемого интервала времени определяют по журналу нарядов. По степени локализации и расположению рабочих мест подземный персонал рудника условно разделяют на группы, для которых в соответствии с рекомендациями [МУ 2.6.1.11-01] устанавливается порядок организации учета радиационной нагрузки на работников.

2.2.2. Оптимизация контроля среднегодовой ЭРОА радона в помещениях по измерениям разной длительности

В случае, когда речь идет об оценке среднегодового значения ОА радона в воздухе помещений, основные неопределенности связаны как с природой самого фактора, так и с целым рядом влияющих параметров. Для ОА радона в воздухе помещений характерна значительная вариабельность во времени – сезонная, суточная, кратковременная температурная или ветровая зависимость и т. п.

Очевидно, что наиболее точная оценка среднегодовой ЭРОА изотопов радона может быть получена, если измерения выполнялись в течение всего года. При этом также очевидно, что уменьшение продолжительности измерений будет приводить к увеличению неопределенности оценки исследуемого показателя. Несмотря на наличие методического документа [МУ 2.6.1.037–2015] в настоящее время отсутствует единый подход, позволяющий оценивать значение неопределенности результата контроля с учетом режима и продолжительности измерений.

Определение значений поправочных коэффициентов, учитывающих влияние факторов окружающей среды, а также оценка неопределенности среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в зависимости от продолжительности контроля являются предметом многочисленных исследований и поиска методических подходов [Цапалов и др. 2018; ISO 11665-1:2019; Цапалов и др., 2010, 2011; Steck, 2009].

В Российской Федерации первая методика оценки максимально возможного среднегодового значения ОА радона или ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий при приемке их в эксплуатацию после завершения строительства (реконструкции или капитального ремонта) была представлена в МУ 2.6.1.715-98. В действующем документе МУ 2.6.1.2838-11, разработанном в развитие МУ 2.6.1.715-98, допускается проводить оценку соответствия здания, вводимого

в эксплуатацию, установленным гигиеническим нормативам среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам краткосрочных измерений показателя. При этом оценка максимального среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений проводится с учетом регионального коэффициента сезонности $K(t,h,v)$, который зависит от целого ряда параметров в период измерений: перепада температур внутри и снаружи здания, атмосферного давления, силы и направления ветра, среднегодовых значений этих параметров, строительных характеристик зданий и т. д. Значение $K(t,h,v)$ временно принимается равным 1,0 для зимнего периода года и 1,3 – для летнего [МУ 2.6.1.2838-11].

При подготовке документа предполагалось, что значения коэффициента $K(t,h,v)$ будут определяться для конкретных регионов с учетом специфических особенностей строительства, климатических и иных условий. Однако такие исследования, до утверждения МУ 2.6.1.2838-11, были выполнены только для двух территорий – Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а также для территории Ростовской области [Соловьев и др., 2010; Стамат и др., 2010].

В развитие методических подходов для оценки и учета неопределенности среднегодовой ЭРОА изотопов радона при проведении измерений разной длительности были разработаны, утверждены и введены в действие ФМБА России методические указания «Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности» [МУ 2.6.1.037–2015], которые дополняют и конкретизируют отдельные положения МУ 2.6.1.2838-11.

В основу МУ 2.6.1.037–2015 положен принцип контроля радона в зданиях, который удовлетворяет требованиям метрологии и рекомендациям современного национального стандарта ГОСТ Р 54500.3–2011. Здесь конкретизируются условия измерений, порядок их проведения и расчет значения среднегодовой ЭРОА изотопов радона в помещениях зданий с

оценкой ее неопределенности в зависимости от продолжительности и режима измерений.

Предлагаемый принцип контроля вводит параметр – коэффициент временных вариаций радона $K_V(t)$, который выражает основную составляющую неопределенности временных вариаций радона в помещениях $U(\bar{C})$ как величину относительного максимального отклонения $C(t)$ от среднегодовой ОА или среднегодовой ЭРОА изотопов радона (далее – СЭА) радона; $K_V(t)$, отн. ед., зависит от режима и продолжительности измерений и изменяется от 0 (если длительность измерения $t=1$ год, но без учета межгодовых вариаций) до 200% и более (если $t < 2$ суток).

Экспериментальной базой для вычисления $K_V(t)$ являются результаты годовых мониторингов радона в представительных экспериментальных помещениях² [Цапалов и др. 2010, 2018].

Принцип контроля радона в помещении состоит в определении доверительного интервала среднегодовой ОА радона в диапазоне от $\bar{C} - U(\bar{C})$ до $\bar{C} + U(\bar{C})$ (либо в диапазоне от 0 до $\bar{C} + U(\bar{C})$, если $U(\bar{C}) > \bar{C}$), и сравнении границ этого интервала с нормативным уровнем C_H , согласно предложенным трем критериям. В зависимости от выполнения соотношения, описывающих эти критерии, принимается одно из решений:

- измерения прекращаются, а радонозащитные мероприятия не проводятся,
- измерения прекращаются и проводятся радонозащитные мероприятия.
- нормативный уровень превышен.

Представленный принцип соответствует требованиям метрологии и рекомендациям современного национального стандарта [ГОСТ Р 54500.3–2011], что обеспечивает высокую надежность контроля радона (при

² Представительными можно считать помещения, во-первых, отличающиеся повышенным содержанием радона, а во-вторых, расположенные в зданиях, которые наиболее распространены в регионах с характерной геологией и климатом.

доверительной вероятности не менее 95%), независимо от применяемых методов и средств измерений ОА или ЭРОА изотопов радона в помещениях зданий.

Более детальное изложение подходов и их обоснования, предложений по реализации и справочных данных содержится в [МУ 2.6.1.037–2015].

2.2.3. Радиационное обследование зданий с высокими уровнями содержания радона в воздухе помещений

Если в результате выборочного, планового или инициированного собственником обследования здания сделан вывод о возможном превышении нормативного уровня содержания радона в воздухе помещений здания, то должны быть выполнены углубленные исследования, на основании которых будет составлен проект радонозащитных мероприятий, включающий в себя методы снижения поступления и накопления радона в воздухе помещений и приняты соответствующие технические решения.

Измерения, связанные с углубленными обследованиями помещений, выполняются преимущественно в обычных условиях эксплуатации помещений. Необходимость создания иных условий на время проведения измерений оговаривается особо.

В соответствии с МУ 2.6.5.062–2017 для удобства организации работ углубленные исследования разбиваются на несколько этапов. Первый этап – «Предварительные обследования», второй этап – «Дополнительные исследования» и третий этап – «Проверка эффективности реабилитационных мероприятий» (рис. 2.2.2).

Первый этап выполняется с целью получить результаты измерений для оценки среднегодовых значений ОА и ЭРОА радона в помещениях здания. Если во всех или части помещений превышены действующие нормативные уровни, то результаты оценки служат основанием для принятия решения о проведении работ второго этапа. В зависимости от кратности

превышения установленного уровня действия устанавливается очередность выполнения последующих исследований.

Второй этап – дополнительные исследования – проводится с целью выяснения обстоятельств, обусловивших повышенные уровни содержания радона в воздухе помещений. К таковым относятся, в частности, источники радона, пути поступления радона в здание, пути переноса радона внутри здания, интенсивность радоновыделения из грунта под зданием, сведения об эксплуатации помещения, строительные характеристики здания и др. На основании результатов исследований производится выбор методов и технических решений для снижения существующего уровня содержания радона в воздухе помещений до нормативного уровня или ниже в соответствии с принципом оптимизации.

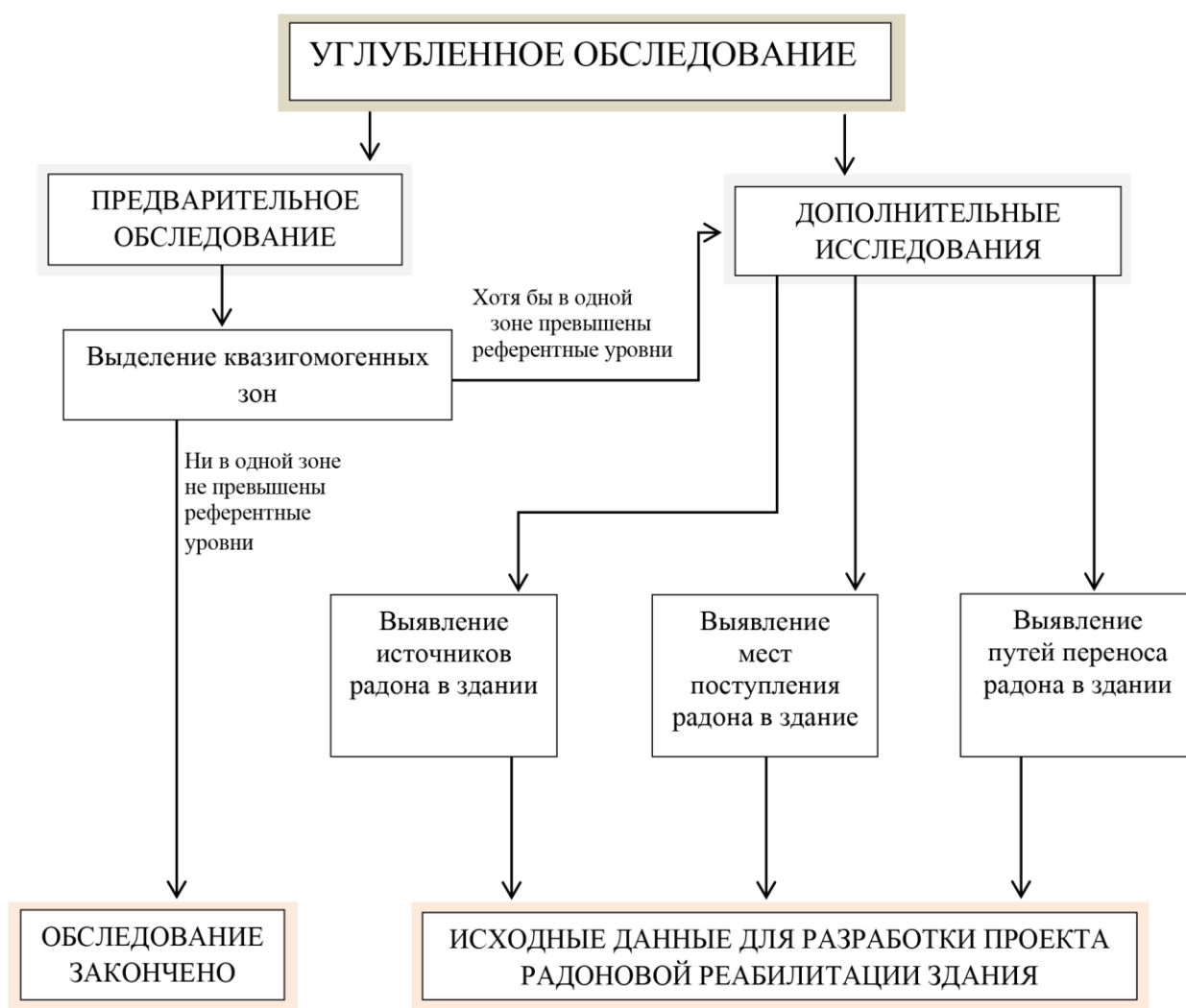


Рисунок 2.2.2 – Последовательность и содержание работ по углубленному обследованию эксплуатируемого здания перед проведением радонозащитных мероприятий в соответствии с [МУ 2.6.5.062–2017]

Третий этап – проверка эффективности радонозащитных мероприятий – проводится непосредственно (оперативный контроль) и спустя некоторое время (плановый контроль) после завершения радонозащитных мероприятий. Цель проверки – удостовериться, что совокупность использованных для проведения радонозащиты здания методов и аппаратуры, а также качество выполненных работ, обеспечивают устойчивое во времени поддержание содержания радона в воздухе рассматриваемых помещений не выше нормативного уровня.

Важным элементом планирования предварительных исследований помещения является определение количества и выбор месторасположения контрольных точек (КТ) в обследуемом помещении.

Количество КТ в помещении с нестабильным режимом вентиляции [МУ 2.6.5.062–2017] определяется из условия 1 КТ на площади 25 м^2 , но не менее одной КТ на помещение. При других режимах вентиляции количество КТ определяется из условия 1 КТ на площади 50 м^2 , но не менее одной КТ на помещение.

В различных местах помещений значения ОА могут существенно отличаться. КТ должны располагаться в зонах помещения с максимальной ОА радона. Поэтому в помещении проводятся предварительные рекогносцировочные измерения для определения мест контрольных точек, которые характеризуются наибольшей значимостью по длительности пребывания обитателей помещения и/или максимальному значению ЭРОА радона. Измерения проводятся по истечении нескольких часов после того, как окна и двери закрыты.

Сеть точек для рекогносцировочных измерений выбирают в соответствии с существующим образом жизни обитателей (наиболее часто посещаемые места, маршруты передвижения, схема проветривания

(вентиляции)). Рекомендуемое количество точек – от 1 до 5. В качестве месторасположения КТ для долговременного измерения ОА радона выбирают зоны, где получены наиболее высокие значения ЭРОА радона. По результатам измерений производится установление границ квазигомогенных зон (КГЗ).

В состав КГЗ должно входить хотя бы одно помещение. Объемы (помещения), отнесенные к одной КГЗ должны удовлетворять также критериям «одинаковости».

Выделение КГЗ целесообразно проводить, начиная с нижнего этажа к верхним, чтобы в максимальной степени учесть основные источники поступления радона в здание и изменение их интенсивности по мере перехода к более высоким этажам.

Характер распределения содержания радона по зданию отличается большим разнообразием. Применительно к задачам проведения радонозащиты зданий можно выделить три типичных ситуации:

- радон практически равномерно распределяется по помещениям здания или, что бывает чаще, во всех помещениях среднегодовое значение ОА радона не превышает установленного уровня действия с учетом неопределенности определения этого значения. Из этого следует, что необходимость последующих действий отсутствует;
- среднегодовое значение ОА радона превышает установленный уровень действия в одном или нескольких примыкающих помещениях или КГЗ. Из этого следует, что источник радона и пути переноса достаточно локализованы, т.е., вероятнее всего, объем и содержание дополнительных исследований, так же, как и радонозащитных мероприятий, могут быть сокращены и упрощены;
- среднегодовое значение ОА радона превышает установленный уровень действия в различных, непосредственно не связанных между собой помещениях или КГЗ. Из этого следует, что источников радона несколько, перенос радона осуществляется по нескольким, не

связанным между собой, путям, виды и интенсивность вентиляции в разных помещениях различны. Совокупность этих факторов обуславливает необходимость сложных и разнообразных дополнительных исследований. Для радонозащиты здания потребуется, скорее всего, использование нескольких технических систем, основанных на разных методах.

Состав и объем дополнительных исследований определяется по результатам предварительного обследования исходя из конкретной ситуации – специфики помещений, степени отличия полученных значений ОА (ЭРОА) радона от принятых уровней действия, количества КГЗ, отличий распределений значений ОА (ЭРОА) радона по КГЗ и по этажам.

Дополнительные исследования направлены на выяснение обстоятельств, обусловивших повышенные уровни содержания радона в помещениях. Поэтому они могут включать в себя все или часть следующих основных составляющих:

- интервальные измерения динамики измерения ОА радона в течение суток в помещениях с ограниченным пребыванием людей и проветриванием помещений
- выявление источников радона в здании;
- определение мест поступления радона в здание;
- определение путей переноса радона внутри здания;
- измерение интенсивности выделения радона из грунта и ограждающих конструкций помещений;
- радиометрическое и спектрометрическое обследования.

Проверка эффективности реабилитационных мероприятий призвана ответить на главный вопрос: правильно ли выбраны методы и технические решения, направленные на снижение содержания радона в помещениях? К этому основному вопросу добавляются вспомогательные: нужно ли

проводить дополнительные мероприятия и насколько стабильно технические решения обеспечивают снижение содержания радона в последующем?

Измерения в рамках проверочных испытаний целесообразно проводить в различные сроки после окончания радонозащитных мероприятий.

Непосредственно после завершения работ по реабилитационным мероприятиям, целесообразно выполнить мгновенные измерения, которые должны подтвердить или опровергнуть правильность принятых технических решений и удостовериться в качественном выполнении соответствующих монтажных и строительных работ. Если в каких-либо помещениях полученные значения превышают установленный уровень действия, то в тех же точках проводятся интервальные измерения непрерывно в течение нескольких суток. Если все результаты измерений показывают значения меньшие, чем установленный уровень вмешательства, то делается вывод о правильности выбора метода и технического решения. Если же общая картина результатов подобна инспекционным измерениям, то делается вывод о повторении измерений в объеме предварительного обследования с последующей коррекцией принятого технического решения для снижения содержания радона.

С течением времени характеристики системы снижения содержания радона в воздухе помещений, а также техническое состояние и структура здания (например, выполнение некоторых перестроек) могут измениться. Соответственно может произойти перераспределение содержания радона в воздухе отдельных помещений здания.

Поэтому с установленной частотой (один раз в несколько лет) или по прецеденту произошедшего изменения должен производиться контроль стабильности «радоновой» ситуации в здании. В рамках такого контроля целесообразно проведение интегральных измерений ОА радона по типу предварительного обследования как минимум, в обитаемых помещениях.

Детальное изложение методических аспектов проведения всех этапов углубленных исследований рассмотрены в [МУ 2.6.5.062–2017].

2.2.4. Выборочное радоновое обследование населенных пунктов

Радоновое обследование населенных пунктов представляет собой массовое измерение ОА радона в жилых зданиях в рамках целостной, скоординированной программы. Обследование может проводиться на территориях размером от небольшого населенного пункта до страны в целом. Цель радонового обследования – установить частотное распределение ОА радона в жилищах территории, определить его форму и рассчитать параметры.

В России методическим основам выборочного обследования для оценки доз облучения населения посвящены методические рекомендации [МР 11-2/206-09]. Развернутый обзор методов планирования, организации и проведения радоновых обследований в мире был подготовлен ведущими специалистами по заданию МАГАТЭ в 2013 г. [IAEA/AQ/33].

При наличии соответствующих ресурсов может выполняться сплошное обследование жилого фонда. Однако в большинстве случаев необходимая информация об уровнях облучения населения может быть получена по результатам обследования выборки помещений. В этом случае говорят о выборочном характере обследования. Выборочное радоновое обследование планируется таким образом, чтобы обеспечить достаточный объем и представительность выборки зданий для достижения требуемой точности и достоверности результатов.

Надежный метод формирования представительной выборки – случайный отбор необходимого числа объектов из их полного перечня. Для обследования жилищ в качестве полного перечня может использоваться реестр жилых помещений или список граждан. Реализации этого подхода может препятствовать отсутствие полного списка. Вместо полного реестра

жилищ можно использовать такие источники данных, как список телефонных номеров или регистра работников государственных или частных организаций и предприятий, имеющих широкую сеть учреждений и филиалов.

Нерандомизированная выборка может послужить причиной смещенной оценки параметров распределения ОА радона. Одним из примеров такого формирования выборки является широко распространенная практика привлечения волонтеров для выполнения программ измерений в жилищах. Смещенная оценка уровня облучения населения будет также получена, если в выборке непропорционально представлены территории с высоким радоновым потенциалом или типы помещений с повышенным поступлением радона, например, расположенные на первом этаже. Такой подход к формированию выборки иногда применяют, когда уже на этапе первоначального радонового обследования пытаются решать задачу выявления зданий с повышенным содержанием радона.

Достоверность оценки уровней облучения населения в значительной мере зависит от степени представительности (репрезентативности) выборки обследуемых жилых и общественных зданий. Критерием представительности созданной выборки жилых зданий служит соответствие ее характеристик жилому фонду в целом. Поэтому в качестве одной из задач выборочного радонового обследования является сбор данных о помещениях, в которых проводятся измерения, и информации о характеристиках жилого фонда территории. Поскольку содержание радона в воздухе помещений зависит как от геолого-геофизических характеристик мест застройки, так и от строительных и конструктивных характеристик зданий, представительность выборки, прежде всего, должна быть обеспечена именно по этим характеристикам. При наличии предварительной информации о радоноопасности помещений, например, по результатам инспекционных измерений содержания радона, в интересующем здании или прилегающих к

нему зданиях, необходимо учитывать ее при планировании выборочных измерений.

Важнейшими геолого-геофизическими характеристиками мест застройки, влияющие на содержание радона в воздухе помещений внутри зданий, являются:

- плотность потока радона с поверхности почвы (грунта);
- наличие или отсутствие геологических разломов;
- ОА радона в почвенном воздухе на глубинах 0,5–1,0 м.

Если указанные характеристики известны, то проводится оконтуривание зон с низкой, средней и высокой потенциальной радоноопасностью.

Из строительных и конструктивных характеристик зданий, которые могут влиять на содержание радона в воздухе помещений, при составлении представительной выборки жилых единиц в первую очередь необходимо учитывать:

- этажность (одноэтажные дома, двухэтажные дома, дома большей этажности);
- строительные материалы, использованные при возведении зданий (дерево, кирпич, бетон и т.д.);
- система вентиляции помещений (естественная, принудительная и т.д.);
- наличие подвалов и вентилируемых пространств под зданием.

С учетом этих характеристик в обследуемом населенном пункте или на обследуемом участке территории выделяют несколько типов зданий, представляющих весь жилой фонд.

После выполнения зонирования интересующей территории и определения типов жилых зданий, оценивают количество жителей, проживающих в каждой из зон потенциальной радоноопасности и в зданиях разных типов. Для многоэтажных зданий, оценивается также распределение жителей по этажам. При определении числа зданий каждого вида и

распределения населения по домам и этажам, целесообразно воспользоваться данными государственной или муниципальной статистики. При отсутствии таких данных проводят оценку по любым пригодным для этого данным, либо проводят самостоятельное обследование.

Количество обследуемых жилых единиц (квартира или отдельное помещение) в зданиях разных категорий и в каждой из зон потенциальной радоноопасности рассчитывается исходя из общего числа запланированных измерений пропорционально числу приходящихся на них жителей.

При отсутствии или низкой достоверности информации о геолого-геофизических характеристиках мест застройки число обследуемых жилых единиц принимается пропорциональным числу жителей в каждом микрорайоне.

Если в населенном пункте или городе имеются здания, построенные с использованием строительных материалов с высоким содержанием ^{226}Ra , или такие материалы использовались для засыпки межэтажных перекрытий, то такие здания следует выделить в отдельный тип обследуемых зданий. Современные многоэтажные здания, построенные с применением технологий сбережения тепла, также необходимо рассматривать как отдельную группу.

В населенных пунктах с одним или несколькими школами и дошкольными детскими учреждениями проводят выборочные обследования помещений в каждом из них. В крупных населенных пунктах с большим количеством школ и других детских учреждений, выбор объектов для обследования осуществляют главным образом на основе имеющихся данных о радоноопасности территорий размещения объектов. При выборе мест для обследования внутри отобранных объектов в обоих случаях предпочтение отдается помещениям на первых этажах и помещениям, на которые приходится наибольшее число человеко-часов присутствия детей.

Представительность выборки может оцениваться при планировании и обязательно анализируется на завершающем этапе обследования.

Объем выборки обследования определяется исходя из необходимой точности оценки среднего арифметического, среднего геометрического и геометрического стандартного отклонения в выборке, а также процентилей распределения. Адекватную и достаточно определенную оценку среднего значения ОА радона в жилищах можно получить, проведя измерения в относительно небольшой выборке помещений. Для оценки частотного распределения ОА радона требуется большее количество измерений. Кроме того, чем больше объем выборки, тем меньше вероятность того, что она окажется непредставительной.

В методических рекомендациях [МР 11-2/206-09] общее количество обследуемых жилых единиц (объем выборки) следует выбирать из расчета не менее 1% от общего числа жилых зданий данного типа в регионе, городе, населенном пункте. В населенных пунктах с малым количеством жителей плотность выборки увеличивается в кратное число раз, например 2%, 5%, 10% и даже 100%, исходя из условия, чтобы в каждом населенном пункте по возможности было обследовано не менее 20 жилых зданий³.

Для детального анализа географического распределения уровней облучения и картирования ОА радона необходимо большее количество измерений.

Наиболее подходящим средством измерения в рамках радонового обследования являются диэлектрические трековые детекторы, которые достаточно дешевы, просты, имеют небольшие размеры, могут рассылаться по почте и подходят для долгосрочных измерений. Для целей радонового обследования территории необходимо в каждом жилище проводить измерения продолжительностью от нескольких месяцев до одного года.

По ряду причин не всегда удается реализовать стратегию размещения экспозиметров радона для выборочных обследований, запланированную в соответствии со сформулированными выше принципами. Хозяева

³ В справочной публикации МАГАТЭ в качестве достаточного размера выборки национального радонового обследования приводится диапазон от нескольких сотен до нескольких тысяч помещений [IAEA/AQ/33].

помещений часто проявляют пассивность или нежелание допустить размещение экспозиметров радона, несмотря на очевидную полезность выяснения радоновой обстановки в их жилище. Чаще всего это связано с отсутствием достаточных знаний о вреде радона [Давыдов и др., 2021]. Немаловажную роль играет и криминализованная обстановка, сложившаяся в стране, что приводит к вполне понятному нежеланию допускать посторонних людей в свой дом.

Поэтому имеет смысл до проведения измерений радона провести разъяснительную кампанию о вреде для здоровья, связанном с высоким содержанием радона в воздухе помещений. При этом помимо использования средств массовой информации можно порекомендовать описанный в следующем пункте метод, неоднократно применявшийся при проведении подобных обследований и приводивший к удовлетворительным результатам.

Суть метода сводится к следующему. Намечается сеть предприятий и учреждений с относительно большим количеством работников в различных районах города. Наиболее удобный выбор – школы, детские сады, другие учебные заведения, предприятия обслуживания и т.п. При выборе учитываются принципы выборочного обследования, изложенные выше.

Результатом разъяснительной беседы с руководством об опасности радона является договоренность о выделении данному учреждению определенного количества пассивных радоновых экспозиметров. Часть из них размещается для экспонирования в учреждении, а основное количество под расписку передается сотрудникам для самостоятельной установки по месту жительства. Для раздачи и последующего сбора экспозиметров (вместе с сопроводительными паспортами с указанием адреса, места и периода экспонирования) администрацией выделяется ответственное лицо. После окончания экспонирования экспозиметры возвращаются в учреждения по месту работы и затем передаются уполномоченному лицу для возвращения их в лабораторию для обработки.

Опыт показывает, что для обработки возвращается до 95% экспозиметров. Очевидно, что при таком подходе имеется ряд отклонений от «правильной» выборки и это необходимо учитывать при последующей обработке результатов обследования.

Итак, выборки могут формироваться на основании двух базовых подходов:

- предварительный случайный выбор объектов измерений с использованием математического аппарата;
- привлечение персонала учреждений (сотрудники санитарно-гигиенических органов, учителя и школьники образовательных учреждений и т.д.).

Следует отметить, что использование второго метода, скорее всего, обуславливает неслучайную (нерандомизированную) выборку, что может послужить причиной смещенной оценки параметров распределения ОА радона. Необходимо принимать во внимание то, что желание участвовать в радоновом обследовании может быть связано с обоснованной обеспокоенностью проблемой радона в своем жилище, т. е. коррелировать с ОА радона. Привлечение добровольцев не рекомендуется даже в тех случаях, когда можно полагать, что потенциальным участникам не известна информация о вреде радона и основных факторах радоноопасности, т. к. социальный и возрастной состав лиц, отозвавшихся на приглашение, может значительно отличаться от соответствующих характеристик населения.

Смещенная оценка уровня облучения населения будет также получена, если в выборке непропорционально представлены территории с высоким радоновым потенциалом или типы помещений с повышенным поступлением радона, например, расположенные на первом этаже. Современные многоэтажные энергосберегающие здания необходимо рассматривать как отдельную группу. Также, если в населенном пункте или городе имеются здания, построенные с использованием строительных материалов с высоким содержанием ^{226}Ra , или известно, что такие материалы

использовались для засыпки межэтажных перекрытий, то такие здания следует выделить в отдельный тип обследуемых зданий.

Поэтому для получения не смещенной оценки, выборка по второму методу должна быть подвергнута цензурированию, т.е. все элементы выборки (объекты), которые могут привести к смещенной (как правило, завышенной) оценке, должны быть выведены в отдельную группу и удалены из выборки.

Однако информация, полученная по объектам в этой группе, может оказаться весьма полезной с точки зрения принятия управленческих решений, т.к. в большинстве своем, может относиться к зданиям с повышенным содержанием радона в помещениях, нуждающимся в проведении противорадоновых мероприятий.

Обобщенный анализ результатов выборочного радонового обследования включает:

- оценку представительности выборки;
- построение таблицы и гистограммы частотного распределения ОА радона;
- проверку статистической гипотезы о логнормальном распределении ОА радона в выборке;
- расчет параметров логнормального распределения;
- расчет среднего арифметического значения ОА радона и стандартной ошибки этой величины;
- оценку доли жилищ, в которых ОА радона превышает установленные уровни;
- оценку вклада различных факторов (тип здания, режим содержания помещения и др.) в вариабельность ОА радона.

По результатам выборочного радонового обследования проводится анализ масштаба проблем, связанных с облучением радоном на рассматриваемой территории, и значимость ущерба от радона для общественного здравоохранения. Такой анализ включает:

- оценку доз облучения населения за счет радона и место радона в структуре доз облучения населения за счет всех источников ионизирующего излучения;
- оценку риска и ущерба от заболеваемости раком легкого, связанной с радоном, и сравнительный анализ вклада различных факторов риска в общую заболеваемость;
- обоснование референтного уровня объемной активности радона и оценку числа жилищ, в которых этот уровень превышен;
- планирование детальных обследований жилого фонда в зонах повышенного геогенного радонового потенциала и в зданиях с другими признаками радоноопасности с целью выявления помещений, в которых ОА радона превышает нормативный уровень;
- анализ эффективности различных стратегий проведения радонозащитных мероприятий и оптимизации защиты населения от облучения радоном.

Детальное изложение основных аспектов проведения выборочных обследований рассмотрены в [МР 11-2/206-09]. Методические указания по проведению измерений в рамках выборочных обследований представлены в [МУ 2.6.1.2838-11; МУ 2.6.1.037–2015].

Эффективность стратегии защиты населения от радона и предпринятых радонозащитных мероприятий в населенном пункте оценивается на основе сравнения начального и достигнутого распределений ОА радона в жилищах. Для этих целей по истечении определенного периода времени может проводиться повторное выборочное радоновое обследование.

В настоящее время в стране отсутствует общепринятый подход к оценке остроты «радоновой ситуации» в административных образованиях по результатам выборочных обследований населенных пунктов. В работе [Губин и др., 2012] предложено в качестве относительного критерия принять отношение средних значений ЭРОА радона в воздухе зданий и сооружений

по обследованному населенному пункту и принятого среднего значения ЭРОА радона в Российской Федерации. Там же предложена шкала значений этого отношения, на сопоставлении с которой по полученному значению отношения можно обосновать цель, характер и объем последующих работ в населенном пункте, направленных на снижение облучения населения радоном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильев А.С., Романович И.К., Кононенко Д.В., Кормановская Т.А., Сапрыкин К.А., Балабина Т.А. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 29–40. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40>
- Горский Г. А., Еремин А. В., Стамат И. П. О необходимости радиационного обследования зданий после окончания строительства, капитального ремонта или реконструкции // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 3. – № 1. – С. 28–32.
- ГОСТ 8.638–2013. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Метрологическое обеспечение радиационного контроля. Основные положения (с поправкой). – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.
- ГОСТ Р 54500.3–2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – М.: Стандартинформ, 2012. – 101 с.
- Губин А.Т., Маренный А.М., Сакович В.А., Астафуров В.И., Нефедов Н.А., Пенезев А.В. Обследование территорий, обслуживаемых ФМБА России, на содержание радона в помещениях // Медицина экстремальных ситуаций. – 2012. – № 4 (42). – С. 77–88.
- Давыдов А.А., Библин А.М., Кононенко Д.В. Проблемы риск-коммуникации по вопросу облучения радоном: результаты всероссийского социологического исследования // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 3. – С. 29–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.3.03>
- МВИ 2.6.1.003-99. Радон. Измерение объемной активности интегральным трековым методом в производственных, жилых и общественных помещениях. Аттестована ЦМИИ ГП «ВНИИФТРИ» Госстандарта РФ, свидетельство № 45090.84769 от 08.12.1998.
- МР 11-2/206-09. Выборочное обследование жилых зданий для оценки доз облучения населения : методические рекомендации. Утверждены заместителем Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 29.08.2000 г.
- МР 2.6.1.0088-14. Форма федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона : методические рекомендации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2014. – 39 с.

- МУ 2.6.1.037–2015. Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности : методические указания. – М.: ФМБА России, 2016. – 48 с.
- МУ 2.6.1.11-01. Организация радиационного контроля на урановых рудниках и расчет доз облучения персонала : методические указания. – М.: Федеральное Управление «Медбиоэкстрем», 2001. – 43 с.
- МУ 2.6.1.2838-11. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности : методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011 – 26 с.
- МУ 2.6.1.715-98. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий : методические указания. – СПб., 1998. – 29 с.
- МУ 2.6.5.062–2017. Углубленное обследование объектов с высокими уровнями содержания радона в помещениях : методические указания – М.: ФМБА России, 2017. – 65 с.
- Патент на изобретение № 2731592, с приоритетом от 02.09.2019. Интегральный радиометр радона с диэлектрическим трековым детектором.
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: санитарные правила и нормы. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2.
- СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009 – 100 с.
- Соловьев М.Ю., Калинина М.В., Стамат И.П. Содержание радона в воздухе вновь построенных и эксплуатируемых зданий в Ростовской области // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 3. – №. 2. – С. 62–66.
- СП 2.4.3648-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи : санитарные правила. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.09.2020 № 28.
- СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) : санитарные правила и нормативы. –

М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010 – 83 с.

- Стамат И.П., Ракитин И.А., Горский Г.А., Кормановская Т.А., Колотвина А.В. Обоснование методики оценки среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе зданий после окончания строительства // Радиационный контроль. Радиохимические методы исследования : матер. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 6-8 декабря 2010 г. – СПб., 2010. – С. 89–95.
- Цапалов А.А. Результаты долговременных исследований закономерностей поведения ОА и ЭРОА радона в зданиях московского региона //АНРИ. – 2011. – №. 3. – С. 52–64.
- Цапалов А.А., Ермилов А.П., Гулабянц Л.А., Губин А.Т., Кувшинников С.И. Принцип оценки среднегодовой ЭРОА радона в зданиях по результатам краткосрочных измерений // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 3. – №. 3. – С. 23–27.
- Цапалов А.А., Киселев С.М., Маренный А.М., Ковлер К.Л., Кувшинников С.И., Янкин А.С. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 2. Экспериментальная оценка неопределенности временных вариаций радона // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 64–79. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-64-79>
- IAEA/AQ/33. National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings. Review of Methodology and Measurement Techniques. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 33. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2013. – 35 p.
- ISO 11665-1:2019. Measurement of Radioactivity in the Environment – Air: Radon-222 – Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods.
- Marennyy A.M., Lukyanov S.G., Marennyy M.A., Nefedov N.A., Antropov S. Yu, Belyanina L.A., Gertsen G.P. New track interval radon exposure meters (operating principle and design) // Applied Radiation and Isotopes. – 2022. – Vol. 184. – 110176. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110176>
- Rydock J.P., Næss-Rolstad A., Brunsell J.T. Diurnal variations in radon concentrations in a school and office: implications for determining radon exposure in day-use buildings // Atmospheric Environment. – 2001. – Vol. 35, nr 16. – P. 2921–2926. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00515-X](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00515-X)
- Steck D.J. Annual average indoor radon variations over two decades // Health Physics. – 2009. – Vol. 96, nr 1. – P. 37–47. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000326449.27077.3c>
- Venoso G., Iacoponi A., Pratesi G., Guazzini M., Boccini L., Corbani E., et al. Impact of temporal variability of radon concentration in workplaces on the

actual radon exposure during working hours // Scientific Reports. – 2021. –
Vol. 11, nr 1. – P. 16984. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96207-9>