

Екологічна геохімія

УДК 614.7:614.876-07(477)

Основные проблемы радоновой безопасности

Жовинский Э.Я.¹, Комов И.Л.², Шраменко И.Ф.²

¹Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, г. Киев

²Институт геохимии окружающей среды НАН и МЧС Украины, г. Киев

Рассматриваются вопросы уменьшения воздействия радона в районах его повышенной концентрации в помещениях, воде, строительных материалах. Приведены характеристики естественной радиоактивности строительных материалов, описаны методы контроля концентрации естественных радионуклидов в сырье для строительных материалов и защитные средства для снижения мощности дозы радона в зданиях.

Риск негативного воздействия на здоровье населения повышенного содержания радона в воздухе жилых, общественных и рабочих помещений привел к возникновению нового научного направления в области радиэкологии и санитарной гигиены. В задачи этого направления входят как экспериментальные, так и теоретические исследования содержания радона в помещениях, типов и распределений его источников внутри зданий, механизмов поступления радона внутрь помещений.

Результаты исследований, проведенных Ассоциацией хирургов, американским Агентством по защите окружающей среды (EPA), Научным советом по радиационной защите и излучениям, Украинским научным центром радиационной медицины (УНЦРМ), а также Санкт-Петербургским институтом радиационной гигиены, позволили установить связь между риском ракового заболевания и вдыханием радона. Попадая в легкие радон и его дочерние продукты распада (ДПР) поражают окружающие ткани, что, в свою очередь, приводит к образованию раковых клеток. По данным EPA от 5 до 20 тыс. ежегодных смертей от рака легких – следствие вдыхания человеком радона. Основным дозообразующим фактором на территории России и Украины считается радон в воздухе жилых помещений. Даже в наиболее загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС населенных пунктах вклад аварийной компоненты в суммарную дозу облучения населения был выше радоновой только сразу после аварии.

Природные источники ионизирующего излучения вносят основной вклад (60–90%) в

дозу облучения населения. При этом наибольшую опасность представляет радон и продукты его распада. Широко распространены три естественных изотопа радона: актинон (²¹⁹Rn), торон (²²⁰Rn), радон (²²²Rn). Все они – члены естественных радиоактивных рядов: ²¹⁹Rn – семейства ²³⁵U, ²²⁰Rn – семейства ²³²Th, ²²²Rn – семейства ²³⁸U и являются ДПР радия. С распадом радона связано появление изотопов, образующих так называемый радоновый активный осадок: ²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po.

Радон, будучи инертным газом, обладает способностью диффундировать из места образования и накапливаться в воздухе помещений. При нахождении человека в помещении с объемной активностью (ОА) радона 1 Бк/м³ его верхние дыхательные пути получают эффективную дозу облучения примерно 50 мкЗв/год [1]. На практике колебания ОА радона в домах могут составлять от нескольких единиц до 10⁵ Бк/м³. Значительную часть дозы облучения человек получает от дочерних продуктов распада, а не от самого радона. Радон вместе с его ДПР поступает в органы дыхания человека и воздействует на легкие.

Радиоактивные эманации (главным образом радон и торон) и продукты их распада ионизируют воздух. Основной ионизатор – радон, обладающий большим периодом полураспада, чем торон. Ионизирующее излучение передает нейтральной молекуле или атому воздуха энергию, достаточную для удаления одного из электронов из оболочек ядра. Свободный электрон, присоединяясь к одному из нейтральных атомов, образует отрицательный аэроион: атом, по-

терявший электрон, становится положительным аэроионом. Через несколько долей секунд к таким аэроионам присоединяются нейтральные молекулы воздуха, образуя так называемые легкие аэроионы, которые, оседая на ядрах конденсации, присутствующих в атмосфере, приводят к появлению тяжелых аэроионов. На аэроионы, как заряженные частицы, действуют электрические поля, возникающие в атмосфере. Степень ионизации воздуха характеризуется объемной плотностью электрического заряда аэроионов ($\text{Кл}/\text{м}^3$), но на практике степень ионизации воздуха выражают числом аэроионов в 1 м^3 , так как элементарный заряд аэроиона $e = \pm 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, и называют эту величину концентрацией аэроионов. Степень преобладания положительных аэроионов над отрицательными при определенной подвижности характеризуется коэффициентом полярности, который для приземного слоя равен 1,1–1,2 и зависит от времени года, географических условий, рельефа местности и электродного эффекта земной поверхности [2]. Концентрация аэроионов различной подвижности существенно зависит также от микропримесей в воздухе и метеорологических факторов.

Наличие радона в помещениях и дисбаланс положительных и отрицательных ионов (аэроионный режим) может привести к негативным последствиям для здоровья человека. Обстановка в помещениях может ухудшаться в результате поступления в них радона при работе различных приборов и оборудования, а также при сжигании бытового газа. В герметизированных помещениях должна создаваться биполярная ионизация с суммарной ионизацией положительных и отрицательных аэроионов от 10–30 до 10^3 пар ионов/ см^3 .

Источники радона – почва, строительные материалы, природный газ, вода, атмосферный воздух. Внутри здания радон может поступать различными способами, в том числе посредством диффузии из перечисленных выше источников; вместе с конвективными потоками из подпольного пространства через полости и трещины в перекрытиях; из атмосферного воздуха при проветривании помещений. Вклад различных источников в суммарную объемную активность радона в воздухе помещений различен и зависит от многих факторов. Основным источником его поступления является почва под зданием, как

правило, с повышенным содержанием природного ^{238}U . Повышенные концентрации радона внутри зданий отмечаются в случае размещения их над глубинными разломами в земной коре. Установлена связь повышенного содержания радона в помещении при использовании строительных материалов, имеющих относительно высокое содержание ^{226}Ra , либо обладающих высокой эманулирующей способностью [3 – 5]. К числу существенных источников радона в воздухе жилых помещений относятся вода и природный газ.

Содержание радона в воздухе помещений значительно варьирует в зависимости от типа здания, его конструктивных особенностей. Скорость поступления радона внутрь и распространение его в пределах здания различны для одно- и многоэтажных жилых домов. Для многоэтажных домов, имеющих различные типы фундамента с большой площадью контакта с землей, различными типами ведущих конструкций, вентиляционных систем, строительных материалов, следует ожидать более сильных различий в содержании радона в воздухе помещений.

Концентрация радона на первых этажах и в подвалах может значительно превышать концентрацию радона в воздухе вне помещений, и его активность может достигать нескольких тысяч Бк/ м^3 . При этом основным фактором, влияющим на содержание радона в помещениях, является наличие естественных радионуклидов (ЕРН) в конкретном геологическом пространстве (горных породах и почве) и строительных материалах. Источником поступления радона в воздух помещений являются также подсыпки из отходов горных пород, размещаемые вокруг или под зданием. Основные поступления радона в помещения обычно происходят за счет его проникновения в здание из грунтового основания. Результаты исследований показали значимую корреляционную зависимость между концентрацией радона в грунте и эквивалентной равновесной объемной активностью в помещениях [6]. При этом, чем выше концентрация радона в грунте, тем выше при прочих равных условиях (конструкция зданий, климатические условия, время года, образ жизни населения) его концентрация в воздухе зданий.

В помещениях человек подвергается внешнему гамма-излучению, обусловленному содер-

жанием ЕРН в ограждающих конструкциях, и внутреннему, связанному с вдыханием вместе с воздухом ДПР радона. Количество поступающего в помещения радона зависит от большого числа разнородных факторов. При прочих равных условиях это количество тем больше, чем выше уровень радоновой нагрузки, создаваемой грунтовым основанием на подземную часть здания.

Средние значения годовой эффективной дозы внутри помещений в Украине при 80% времени пребывания в них человека составляют 3,54 мЗв [7]. В Украине необходимость измерения радона регламентируется Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) [8], Положением о радиационном контроле на объектах строительства и предприятиях стройиндустрии и стройматериалов Украины РСН-356-91. С целью ограничения облучения населения природными источниками ионизирующих излучений для среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона (^{222}Rn и ^{220}Rn) в воздухе проектируемых и сдаваемых в эксплуатацию зданий жилищного и общественного назначения установлен верхний предел – 50 Бк/м³, а в зданиях более ранней постройки с постоянным пребыванием людей – 100 Бк/м³.

Следует подчеркнуть, что на протяжении последнего десятилетия практически во всех высокоразвитых странах мира предпринимались соответствующие меры для улучшения радиационной обстановки в помещениях. Были введены в действие многие законоположения, правовая и нормативная документация по проблемам ядерной и радиационной безопасности, решались технические и организационные вопросы совершенствования систем радиационного контроля. Основная опасность радона заключается в том, что человек в зоне облучения (в школе, дома, на рабочем месте, на отдыхе) находится постоянно. В связи с этим точно измеренная концентрация радона в жилых и производственных помещениях – первый шаг для обеспечения безопасности людей. Для защиты населения от радона должны использоваться такие методы и средства радиационного контроля, которые обеспечивали бы своевременность, надежность и эффективность проводимых защитных мероприятий.

Радон в горных породах и строительных материалах. Наиболее высокие удельные

активности естественных радионуклидов характерны для интрузивных и вулканических пород (гранит, туф, пемза), а наиболее низкие – для карбонатных пород (мрамор, известняк). Песок и гравий, как правило, имеют низкую удельную активность естественных радионуклидов. Для глин характерна умеренно повышенная удельная активность радионуклидов [4, 5].

В Украине основным поставщиком сырья для получения стройматериалов являются кристаллические породы УЩ с различным уровнем природной радиоактивности. Гамма-спектрометрический анализ величины активности долгоживущих природных радионуклидов в горных породах показал, что удельная активность радионуклидов калия-40, радия-226, тория-232 зависит от возраста месторождения, структуры и плотности горных пород.

В процессе переработки горных пород и получения из них строительных материалов происходят значительные изменения в величинах активности радионуклидов, зависящих от минералогического и химического составов пород, а также наличия различных примесей. Установлено, что при термообработке в ряде горных пород происходит отжиг примесей, в результате которого повышается величина активности радионуклидов в получаемой конечной продукции. Отмечена связь повышенных уровней радона в помещениях с использованием строительных материалов, имеющих относительно высокое содержание ^{226}Ra , либо обладающих высокой эманулирующей способностью.

Диапазон колебаний уровня ЕРН в строительных материалах в процессе переработки горных пород велик. Согласно НРБУ-97 [8] в строительных материалах I класса, используемых во всех вновь строящихся жилых и общественных зданиях, эффективная удельная активность ЕРН ($A_{\text{эфф}}$) не должна превышать 370 Бк/кг и определяется как взвешенная сумма удельных активностей радия-226 (A_{Ra}), тория-232 (A_{Th}) и калия-40 (A_{K}) по формуле:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}} \quad (1)$$

Все остальные классы стройматериалов, в которых концентрация ЕРН превышает указанные показатели, нельзя применять в жилищном и культурно-бытовом строительстве. Строительные материалы II класса, содержание ЕРН в которых от 370 до 740 Бк/кг, пригодны для дорож-

ного и промышленного строительства; строительные материалы с содержанием ЕРН от 740 до 1350 Бк/кг – для строительства подземных сооружений, где присутствие людей исключено, а также для дорожного строительства за пределами населенных пунктов (III класс). Величина $A_{эфф}$ не должна превышать 3700 Бк/кг в материалах, которые используются для внешнего и внутреннего оформления объектов общественного назначения (кроме детских учреждений). Их использование может быть разрешено на основании отдельных регламентных документов, утвержденных органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

В настоящее время во многих странах мира проводятся широкомасштабные исследования по изучению и нормированию радиационных параметров минерального сырья, строительных материалов для жилых и общественных зданий. В Польше, например, сырье и готовый строительный материал оценивают по двум квалификационным коэффициентам [4]:

$$f_1 = 0,00027S_K + 0,0027S_{Ra} + 0,0043S_{Th}, \quad (2)$$

$$f_2 = S_{Ra}, \quad (3)$$

где S_K , S_{Ra} , S_{Th} – соответственно концентрации калия, радия и тория в данном материале.

Материал можно использовать для жилищного строительства, если квалификационные коэффициенты удовлетворяют одновременно следующим условиям:

$$f_1 = 1 \quad (4)$$

$$f_2 = 5 \text{ пКи/г} \quad (5)$$

Условие (4) ограничивает внешнее облучение гамма-излучением, а условие (5) – допустимую концентрацию радия в материале, которая определяет уровень концентрации свободного радона в воздухе помещения [5].

В Австрии [9] критерием радиоактивной безопасности строительных материалов является условие:

$$\frac{C_K}{9620} + \frac{C_{Ra}(1+0,1\epsilon\rho d)}{740} + \frac{C_{Th}}{520} \leq 1, \quad (6)$$

где C_K , C_{Ra} , C_{Th} – концентрация соответствующего изотопа (K, Ra, Th), Бк/кг; ϵ – безразмерная величина, меньше 1; d – толщина стены, м, ρ – плотность стены, кг/м³. Выражение в скобках второго члена условия (6) учитывает излучение по радону, источником которого является содержащийся в строительных материалах

радий. Когда неизвестны один или несколько параметров, характеризующих радиоактивность по радону, то принимают: $\rho = 2000 \text{ кг/м}^3$; $\epsilon = 0,1$; $d = 0,3 \text{ м}$. Если материал не удовлетворяет условию (6), то проверяют условие (7):

$$\frac{\rho d}{250} \left(\frac{C_K}{9620} + \frac{C_{Ra}}{740(1+25\epsilon)} + \frac{C_{Th}}{520} \right) \leq 1 \quad (7)$$

Величина $A_{эфф}$ в значительной степени определяет гамма-фон, а значит и формирует дозу внешнего облучения человека в помещении. В строительных материалах Красноярского края наибольшую величину $A_{эфф}$ ЕРН имеют глинистое сырье и керамические материалы: керамзит (168 Бк/кг) и кирпич (171 Бк/кг). Среднее значение $A_{эфф}$ этих материалов несколько выше, чем у сырья: глины и суглинков (159 Бк/кг) [10]. Это обусловлено некоторым обогащением естественными радионуклидами керамических материалов в результате обжига. Наименьшее значение удельной эффективной активности ЕРН наблюдается у силикатного кирпича (59,7 Бк/кг), строительного раствора (79,9 Бк/кг) и портландцемента (101 Бк/кг). В состав этих материалов, как известно, входят низкоактивные известь и карбонатное сырье. Гравий, щебень, песок и песчано-гравийная смесь (131 Бк/кг) используемые в качестве заполнителей, имеют несколько повышенные значения $A_{эфф}$ по сравнению с бетонами (107–109 Бк/кг). Основные минеральные вяжущие вещества: цемент, гипс, известь, а также материалы на их основе имеют средние значения удельной активности радия в пределах 30–40 Бк/кг. У обожженных материалов (керамического кирпича и портландцемента) этот показатель превышает 50 Бк/кг. В результате обжига происходит обогащение этих материалов естественными радионуклидами за счет диссоциации известняка и удаления химически связанной воды из глинистых минералов.

В огнеупорной промышленности функционируют заводы по серийному изготовлению огнеупоров из местных каолиновых глинистых пород. Однако получаемые из каолинов огнеупоры, как правило, имеют содержание радионуклидов выше действующих норм радиационной безопасности. К таким же типам огнеупоров относится керамзит. Например, из Часовьярских глин с удельной активностью природных радионуклидов (Бк/кг) $^{40}\text{K} - 453$, $^{226}\text{Ra} - 60$, $^{232}\text{Th} - 47$ полу-

чают керамику с $A_{эфф} = 233$ Бк/кг [3]. Применение такого материала должно ограничиваться.

Мощность дозы в помещении зависит от многих факторов: размеров и формы помещения, площади окон и дверей, толщины стен и перекрытий. Но основным фактором является влияние удельной активности ЕРН в используемых материалах для сооружения здания. Наиболее высокие содержания естественных радионуклидов зарегистрированы в цементе с добавками гравия. Используемый при сооружении зданий старой застройки угольный шлак может являться причиной повышенного уровня гамма-излучений внутри помещений. Все виды контроля строительства направлены на достижение максимального его качества и безопасности людей. Радиационный контроль строительных материалов также можно рассматривать как форму проверки качества продукции строительной индустрии, обеспечивающего радиационную безопасность человека как пользователя этой продукции. Объектами контроля могут быть как строительное сырье, так и отдельные конструкции и законченные сооружения.

Радон в водах. Украина – одна из стран, обладающих богатейшими и разнообразными гидроминеральными ресурсами, на базе которых в стране открыто около 500 санаторно-курортных учреждений. Издавна считались целебными радоновые воды, в которых содержится не менее 185 Бк/дм³ радона. Украина чрезвычайно богата радоновыми водами, которые территориально связаны с Украинским кристаллическим щитом, простирающимся с северо-запада на юго-восток по территориям 13 областей Украины. Происхождение радоновых вод связано с высоким региональным фоновым содержанием радиоактивных элементов в водовмещающих породах Украинского щита. Наиболее известное месторождение радоновых вод – Хмельниковское, с запасами 2000 м³/сут – имеет всемирное значение. Радоновые воды показаны при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой системы (ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь 1–2 степени, варикозное расширение вен). Активность применяемых в лечебных целях радоновых вод достигает 3×10^4 Бк/л.

Недостаточная очистка сточных вод медицинских бальнеологических учреждений, ис-

пользующих радиоактивные воды, приводит к увеличению содержания радия и радона в поверхностных речных и питьевых водах. В соответствии с НРБУ-97 [8] содержание ²²²Rn в источниках хозяйственно-питьевого водоснабжения не должно превышать 100 Бк/л, а ²²⁶Ra – не более 1 Бк/л. В сбросных в открытые водоемы водах у места сброса содержание ²²⁶Ra не должно превышать 5 Бк/л. К источникам загрязнения гидросферы относятся также удобрения, особенно фосфатные и калийные, содержащие изотопы урана и тория. Использование их в условиях орошаемого земледелия приводит к загрязнению радионуклидами не только водостоков, но и продуктов сельского хозяйства.

Пресные подземные воды в Украине и других странах мира играют важную роль в обеспечении населения питьевой водой. Многие подземные воды, предназначенные для использования в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения, обогащены радоном и соединениями железа, что ограничивает их применимость. Необходимо по архивным материалам составить кадастр радиоактивности природных вод по областям для использования его санитарно-эпидемиологическими службами. Источники питьевой воды, не попавшие в кадастр, должны быть обследованы на радиационную безопасность. Обогащение радием-226 вод зоны гипергенеза обычно связано с повышенным содержанием в породах гипергенного урана, поэтому содержание радия-228 и радия-224, являющихся продуктами распада тория-232, обычно значительно ниже.

На рудных месторождениях Казахстана выявлены пробы воды с содержанием радона выше 1000 Бк/л [11]. Также во много раз превышает допустимый уровень активности (ДУА) концентрация урана в водах колодцев в районах, где отмечаются проявления и месторождения урана (17,9 Бк/л) при содержании радона 2220 Бк/л; радия в этих же колодцах не более 0,25 Бк/л. Самую большую долю в радиацию вод населенных пунктов, как и вод месторождений, вносит радон. Опасные для здоровья концентрации естественных радионуклидов в водах наблюдаются не только на участках урановых месторождений и рудопроявлений, но нередко и в питьевой воде сельских населенных пунктов. Установлены содержания урана-238, во много раз превышающие предельно допустимые уров-

ни по НРБ-99 России [12]. Наиболее высокие концентрации урана, радия и радона наблюдаются в грунтовых водах, областью питания которых являются массивы гранитоидов, относящиеся к классу пород, наиболее обогащенных ураном и торием. Уровень радиоактивности радона во всех исследованных водах Казахстана в десятки, сотни и тысячи раз превышает суммарную активность всех других естественных радионуклидов. В связи с этим введение ограничения по НРБ-99 России (120 Бк/л) может оказаться недостаточным для водопунктов, из которых люди ежедневно пьют холодную воду.

Радон из питьевой воды можно удалить путем кипячения, однако население сельских районов не имеет информации об уровнях содержания в воде радона. В настоящее время в отношении радона имеются намерения организовать контроль за его содержанием в воздухе жилых (рабочих) помещений и подземных выработок. До последнего времени считалось, что радон хорошо выводится из организма (инертный газ) и имеет малый период полураспада (3,8 дня). Однако радон ежедневно вводится в желудочно-кишечный тракт с питьевой водой. Н.Г. Сыромятников показал, что при выведении в течение суток из организма 80% поступившего с водой радона изменение его количества в организме со временем описывается следующим дифференциальным уравнением [11]:

$$\frac{dN_t}{dt} = N_n - 0,8N_n - \lambda N_t \quad (8)$$

где N_n – количество атомов радона, ежедневно поступающего в организм с водой (постоянная величина); N_t – количество атомов радона на момент времени t ; λ – постоянная распада радона, связанная с периодом полураспада T соотношением $\lambda = \ln 2 / T$. Решение этого уравнения имеет вид

$$N_t = \frac{0,2N_n}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}). \quad (9)$$

Через время t , равное десятикратному периоду полураспада радона (38 дней), $e^{-\lambda t} \approx 0$, т.е. устанавливается постоянное его количество:

$$N = \frac{0,2N_n}{\lambda} = \frac{0,2N_n \cdot 3,825}{\ln 2} = 1,1N_n. \quad (10)$$

Таким образом, если человек ежедневно выпивает 1 л холодной воды, содержащей 500 Бк/л радона, из которых 80% в течение суток выводится, то через 38 дней в организме устанавливается постоянное количество 550 Бк/л [11]. С учетом альфа- и бетаактивности еще четырех дочерних продуктов распада радона-222 и общего их гамма-излучения (230% выхода на распад) получается радиация, которую необходимо учитывать, даже при задержании в организме 20% поступающего радона, особенно при его задержании в несколько тысяч Бк/л.

Увеличение используемых объемов подземных вод для питьевого водоснабжения требует разработки и применения новых технологий водоподготовки для улучшения качества вод, соответствующего современным санитарно-гигиеническим требованиям. Очистка вод от радона-222 и железа является одной из наиболее актуальных и распространенных задач в практике подготовки артезианских вод для питьевого водоснабжения. Одним из прогрессивных методов безреагентного удаления двухвалентного железа из подземной воды, используемым в практике водоподготовки, является фильтрование воды, содержащей избыток воздуха в три раза превышающий количество фильтруемой жидкости, через незатопленную зернистую загрузку (фильтрующий материал). Гращенко С.М. с соавторами [13] предложили усовершенствованный метод безреагентной очистки артезианской воды (рисунок).

Технология фильтрования воды через незатопленную загрузку с большим избытком воздуха была усовершенствована путем применения активной фильтрующей загрузки из магнетитовых кварцитов, предварительно активированных в магнитном поле. Тем самым был создан новый комплексный способ обезжелезнения подземной воды фильтрованием с большим избытком воздуха через незатопленную активную загрузку. Использование этого способа позволило значительно расширить область применения метода обезжелезнения применительно к таким подземным водам, для которых при других методах очистки необходимо использовать реагенты [13]. После активации зерен магнетита в магнитном поле определенной напряженности они приобретают активные магнитные свойства. При этом поверхность зерен является хорошим сорбентом и катализатором окисления двухвалентного железа кислородом воздуха.

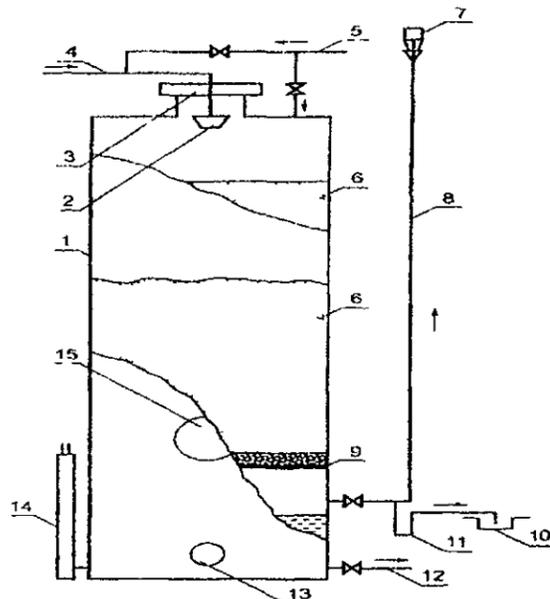


Рисунок. Фильтр для очистки артезианской воды от железа и радона [13].

1 - напорный фильтр; 2 - распределитель; 3 - горловина загрузочного люка; 4 - подача воды из скважины; 5 - подача сжатого воздуха; 6 - два слоя магнетитовых кварцитов с поддерживающими слоями гравия; 7 - дефлектор; 8 - отвод газов и сжатого воздуха; 9 - дырчатое днище фильтра; 10 - дренажный канал; 11 - водяной затвор; 12 - отвод очищенной воды; 13 - смотровой люк; 14 - камера датчиков уровня воды в поддоне фильтра; 15 - выгрузочный люк фильтра.

Продолжительная и устойчивая работа установки (свыше пяти месяцев) показала, что при ее эксплуатации достигается очистка подземной воды от железа и радона до уровня, установленного санитарными нормами. Контроль за изменением концентрации радона в исходной и очищенной воде проводили двумя методами – вакуумно-эманационным и гамма-спектрометрическим.

В настоящее время питьевые и технологические сбросные воды не достаточно хорошо очищаются от радиоактивных элементов в основном из-за высокой стоимости и большого объема применяемых сорбентов, проблем утилизации отработанного материала и др. Использование для целей водоочистки природных материалов, обладающих высокой сорбционной способностью, позволит производить очистку больших объемов высоко- и низкоактивных вод и снизить радиационную нагрузку на окружающую среду и население. В современной техноло-

гии очистки радиоактивных вод наблюдается тенденция вытеснения синтетических сорбентов природными минеральными сорбентами, которые имеют ряд преимуществ. Природные сорбенты относительно дешевы и доступны, что позволяет использовать их в большом объеме. В отличие от синтетических, они обладают повышенной сорбционной способностью к наиболее токсичным и долгоживущим радиоизотомам цезия, стронция и церия. Радиоизотопы, поглощенные природными сорбентами, можно жестко фиксировать путем обжига минералов при высоких температурах и твердые радиоактивные отходы гораздо эффективнее утилизировать.

При очистке воды от радиоактивных загрязнений часто возникает необходимость удалять не только радиоактивные взвешенные вещества, но и растворенные радиоизотопы. Накоплен большой лабораторный и производственный опыт применения глинистых минералов в качестве ионообменников для очистки воды, содержащей растворенные радиоизотопы. Для их удаления нами предлагаются природные минеральные сорбенты типа глауконита.

Глауконитовые породы в Украине имеют широкое распространение в меловых и палеогеновых отложениях и представлены песками, песчаниками, алевролитами, глинами и мергелями. Вопрос об использовании глауконитовых пород как сорбента в процессах очистки вод от радионуклидов естественного и искусственного происхождения является в настоящее время актуальным и окончательно может быть решен после соответствующих испытаний.

Защита от излучений радона. Для снижения облучения населения изотопами радона и их ДПР, находящимися в воздухе жилых помещений, необходимо, чтобы при проектировании и строительстве жилых зданий учитывались закономерности формирования доз. Для этого в первую очередь необходим выбор земельных участков для строительства зданий с минимальным значением плотности потока радона с поверхности грунта. При строительстве здания должна проводиться надежная герметизация пола первого этажа.

Выявление площадей, строительство на которых может привести к формированию высокого уровня радона в зданиях, проводят уже на стадии инженерных изысканий при помощи радиоэ-

кологического картирования. При этом в местах будущего строительства проводятся измерения концентрации ^{222}Rn в почвенном воздухе и плотности потока ^{222}Rn с поверхности почвы.

Дозы облучения можно уменьшить при проектировании и строительстве новых зданий и сооружений с использованием радиационно-безопасных материалов. Для оценки радиационного фона в помещении необходимо исследовать закономерности формирования доз ионизирующего излучения в зависимости от формы и планировки помещений. Для классификации мест расположения домов используют стратиграфические подразделения и литологические характеристики горных пород. Это позволяет надежно выделить площади, потенциально опасные по содержанию радона. Должна быть введена радиационно-гигиеническая паспортизация территорий и домов, которая предусматривает полный комплекс мероприятий: от оценки радиационной безопасности, информации о территориях и группах риска населения, подверженных повышенным уровням воздействия ионизирующего излучения, прогноза и до проведения защитных мероприятий и принятых решений, связанных с обеспечением радиационной безопасности населения. Когда содержание радиоактивности в строительных материалах превышает допустимый уровень, должна быть проявлена осторожность при производстве и использовании таких материалов. Вышеизложенные мероприятия позволят исключить вредное влияние радионуклидов на жильцов и защитить людей от радона в жилых домах.

Наиболее реальным способом, позволяющим оценить объемную активность ^{222}Rn в помещениях первого этажа будущих зданий, является измерение ОА радона в почвенном воздухе при эманационной съемке на площадях проектируемого строительства [14, 15]. В некоторых странах уже имеется положительный опыт использования результатов измерения ^{222}Rn в грунтовом воздухе в качестве критериев радоноопасности зданий, построенных на этих грунтах [16]. При инженерно-изыскательских работах необходимо проведение радиэкологического картирования для выделения зон с высокой концентрацией радона в почве, строительство на которых может привести к радиационно опасным уровням радона в помещениях. Для этих

целей возможно применение различных видов эманационной съемки, используемой для поисков месторождений урана [17].

Выбор мероприятий по защите жилых зданий от радона определяется, прежде всего, интенсивностью основных источников радона, находящегося в почвенном воздухе, наличием трещин и щелей в строительных конструкциях. Другим источником поступления радона в жилые помещения являются строительные материалы, содержащие в своем составе источники радиоактивного излучения. Необходимо исключить попадание радона в организм человека через хозяйственно-питьевую воду. В жилых зданиях и помещениях необходимо обеспечить их полную герметизацию, гидроизоляцию и эффективную вентиляцию. Рассматривая строительные материалы как потенциальные источники ионизирующих излучений необходимо учитывать их экранирующую роль. Для защиты от вредных природных радиоактивных излучений и, прежде всего радона, рекомендуется использовать новый строительный материал, условно названный "легким" бетоном [18]. Этот экологически чистый материал способен полностью защищать людей от радона (за счет газонепроницаемости) и других природных излучений. В качестве наполнителей в этом материале отсутствуют гравий (щебень), содержащий радиоактивные элементы. При малой плотности ($500\text{--}900\text{ кг/м}^3$) он обладает прочностью на сжатие до 15 МПа, отвечает всем современным требованиям тепло- и звукоизоляции. Из него можно изготавливать однослойные ограждающие конструкции, не нуждающиеся в дополнительных отделочных работах (внутренних и наружных). Стоимость одного квадратного метра легкого бетона ограждающих конструкций в два с лишним раза ниже по сравнению с кирпичными стенами.

Необходимо определять допустимую скорость выщелачивания радионуклидов из цементной матрицы. Тесты по выщелачиванию должны быть выполнены с образцами растворов извести с добавлением золы и без таковой. Материалы с цементной основой и добавками обычно выщелачивают незначительное количество тяжелых металлов и, следовательно, они не опасны для почвы и грунтовых вод. Цементная основа материалов исследуется относительно

гамма-радиации с вычислением коэффициентов эманации радона.

Применение генераторов с холодной эмиссией электронов может быть использовано для дезактивации и снижения уровня радиации воздушной среды жилых, социально-бытовых и производственных помещений, а также в целях профилактики накопления радона и оздоровления атмосферы в них [19]. В случае практического применения предлагаемого способа необходимо учитывать нормативные требования к соблюдению предельно допустимых уровней воздействий на людей напряженности создаваемого электрического поля и степени насыщения воздушной среды униполярными ионами. В частности, при дезактивации воздушной среды обитаемых радоноопасных помещений верхняя граница напряженности электростатического поля в 0,5 м от ионизирующего электрода генератора не должна превышать 15 кВ/м. При этом сам ионизирующий электрод располагается в таком месте, куда в обычных условиях невозможно приближение людей на расстояние ближе 0,5 м (обычно ионизирующий электрод устанавливается под потолком помещения). Удельная концентрация легких отрицательных аэроионов в воздушной среде помещения на уровне головы стоящего в нем человека не должна превышать 50000 зар./см³.

Снижение ЭРОА изотопов радона в помещении можно проводить путем удаления из воздушной среды короткоживущих ДПР при помощи генераторов с холодной эмиссией электронов [19]. Они позволяют снизить уровень радона в жилых и служебных помещениях до предельно допустимого, когда уровень ЭРОА радона достигает 1000 Бк/м³ и более. Создание в жилом помещении концентрации легких отрицательных аэроионов кислорода на уровне 1–50 тыс. эл. зар./см³, наряду со снижением уровня радиации воздушной среды, оказывает благотворное лечебно-профилактическое воздействие на человека. Электроэнергетические затраты при непрерывной круглосуточной эксплуатации такой генераторной установки не превышают 20...30 кВт/ч в месяц.

ОА ДПР радона в воздухе жилых помещений зависит от многих параметров, поэтому ее снижения можно добиваться с помощью различных мероприятий. Некоторые из этих мероприя-

тий применимы только для вновь строящихся зданий, тогда как другие могут применяться и для уже построенных зданий.

Отказ от использования в строительстве зданий материалов с аномально высокой эффективной удельной активностью ²²⁶Ra приведет к снижению уровня облучения населения. Эти материалы можно использовать в дорожном строительстве, а также для изготовления бетонных столбов, шпал и других изделий, устанавливаемых вне замкнутых помещений. Практически вопрос о допустимости применения тех или иных материалов для жилищного строительства, если нет домов, построенных из них, может решаться экспериментальным путем. Из данных материалов строится макет стены или перекрытия, на который наносится соответствующее покрытие (штукатурка, масляная краска или побелка) и производится измерение удельного радоноразделения. Не исключено, в частности, что материал можно использовать только при окраске его масляной краской или другими покрытиями. Многие полимерные материалы плохо проницаемы для радона [7]. Поэтому применение тонких пленок из таких материалов при производстве моющихся сортов обоев позволит значительно снизить скорость эксгаляции ²²²Rn. Обработка данных соответствующих измерений позволит выяснить вопрос об уровнях выделения радона различными стройматериалами и об источниках радона (радоноразделение из стен или диффузия радона из почвы через пол). Такие исследования позволят разработать мероприятия, обеспечивающие поддержание концентрации радона в жилых помещениях на уровне, не превышающем предельно допустимого.

Кардинальное решение проблемы снижения ОА и уровней облучения людей в жилых помещениях связано с надежной герметизацией пола первого этажа здания, а также с созданием между грунтом и полом (либо под зданием) области пониженного давления (вентиляция). Комплекс мероприятий по изоляции включает: изоляцию поверхности почвы в подпольном пространстве, каналов ввода коммуникаций в здание (тепла, воды, канализации и т.п.); герметизацию пола и др. Поверхность почвы в подпольном пространстве зданий изолируется укладкой слоя бетона толщиной 10 см; каналы ввода внешних тепловых сетей в здание – заклад-

кой и герметизацией входных окон в фундаменте, созданием герметичной пробки на выходе подводящего канала из колодца магистрального канала; вентиляция подводящего канала теплотрассы – заполнением приямка уплотненной глиной. Изоляция входного окна и канала тепловых сетей герметичными пробками обеспечивается их перекрытием двумя бетонными или кирпичными перемычками, расстояние между которыми заполняется уплотненной глиной, герметизация ввода водопроводной сети – заполнением приямка уплотненной глиной, ввода коммуникаций холодной и горячей воды, канализации и отопления в здания – бетонированием и замазкой герметиками мест ввода.

Эффективным методом снижения концентрации радона и торона в домах является вентиляция. Радон поступает в помещение из земных пород, находящихся под зданием и из строительных конструкций самого здания за счет процесса диффузии радона. Давление воздуха в помещении ниже, чем вне его. Этот перепад давлений по оценке Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН составляет примерно 5 Па (5×10^{-3} атмосферного давления) и обусловлен разностью температур внутри и вне помещения и ветровой нагрузкой на здание. Градиент давлений приводит к увеличению в несколько раз скорости поступления радона в воздух помещения по сравнению со скоростью поступления за счет диффузии радона [1]. Для резкого снижения ОА радона в воздухе жилых помещений эффективным способом является создание в помещениях положительного перепада давлений между воздухом помещений и наружным воздухом.

Для вентиляции подвальных помещений и подпольного пространства первого этажа можно использовать естественную или механическую вытяжку [1]. Во многих случаях целесообразно отсосать радон из пола подвала, не дожидаясь его эманирования в подвальное пространство. Предлагается создать аппаратуру для определения необходимых характеристик при создании разрежения (вакуума), позволяющего эвакуировать радон через отверстие в полу. Основным элементом конструкции может быть вакуумная труба, связывающая отверстие в полу с различными приспособлениями для определения вакуума. В частности, к ним относятся приемники полного и статического давления, позволяющие

измерить скорость воздушного потока в трубе и величину разрежения. Чтобы определить минимальное значение вакуума, достаточное для отсоса радона через отверстие, в предполагаемой аппаратуре размещают мощный насос, с помощью которого создают разрежение в соседних отверстиях.

На ОА радона и его ДП существенно влияет скорость воздухообмена. Поэтому этот фактор необходимо учитывать при гигиеническом обосновании норм воздухообмена в жилых помещениях. Важно, чтобы воздухообмен осуществлялся непосредственно с атмосферным воздухом. Восходящие потоки воздуха, идущие из подвалов по лестничным клеткам и поступающие в жилые помещения, могут быть причиной повышенной ОА радона и его ДП в воздухе жилых помещений. Необходимо найти компромисс между политикой энергосбережения и необходимостью принудительной вентиляции.

Применение достаточно экономичных способов осуществления защитных мероприятий и их широкое внедрение позволит резко снизить дозу, обусловленную ДП радона. Критерии необходимости защитных мероприятий должны использоваться для определения очередности мероприятий в различных зданиях.

Существенное облучение радоном может быть на рабочих местах, расположенных в подвальных и полуподвальных помещениях, а также в офисах с герметичными окнами. Способы снижения ОА радона в воздухе производственных помещений такие же, как и в жилых помещениях. Облучение людей за счет ингаляционного поступления долгоживущих природных радионуклидов с производственной пылью возможно при переработке и использовании минерального сырья и материалов с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Непосредственная причастность радиационной гигиены к важнейшей радоновой проблеме несомненна [20, 21]. В результате ошибок, недостаточно глубокого, научно не обоснованного подхода к решению гигиенических проблем может быть нанесен вред здоровью человека, а при предъявлении к производству и технологии чрезмерно жестких требований – существенный урон экономике. В радиационной гигиене существует ряд весьма сложных проблем, решение которых будет способствовать решению

1 У
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

задач по ускорению социально-экономического развития и уровня общественного здоровья. Тесно взаимосвязаны направления исследований в области дозиметрии и радиобиологии, методологии нормирования (регламентирования) и разработки многообразных аспектов защиты, прогнозирования уровней воздействия радона на человека. Существуют серьезные задачи по оптимизации контроля за уровнем радона в помещениях. Ставится вопрос о необходимости контроля за воздействием новых и давно известных, но малоизученных источников, в частности естественных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах и выбросах ТЭС (сжигание угля).

Уровни облучения радоном являются существенно сложившимися. Основная часть этой дозы формируется за счет ингаляции ДП изотопов радона, их осаждения на поверхность бронхального и легочного эпителия, и облучения пристеночного (базального) слоя эпителия альфа-облучением ДП изотопов радона [1]. Важным параметром, определяющим эквивалентную ОА изотопов радона в воздухе жилых помещений и обусловленную ею дозу облучения людей, является скорость поступления радона в воздух помещения [6]. В радиобиологии главное внимание должно быть уделено чрезвычайно важному вопросу – “эффекту малых доз” и в связи с этим – изучению зависимости “доза – частота рака” от действия малых доз. Необходим прогресс в области теории, в том числе методологии обоснования гигиенических регламентов. Одно из требований радиационной гигиены сводится к тому, что даже при соблюдении гигиенических регламентов следует стремиться к снижению доз облучения. Важной задачей является изучение эффектов сочетанного и комбинированного действия ионизирующих излучений и других факторов окружающей среды.

Необходима комплексная разработка гигиенических и экологических регламентов, обеспечивающих как полную радиационную безопасность для населения, так и экологическое равновесие в радоноопасных зонах. Мерой вероятности возникновения последствий от воздействия радона является эффективная доза. Числовое значение вероятности возникновения онкологических заболеваний с летальным исходом и эквивалентных по значимости других эффектов может быть получено путем умножения значения эффективной дозы на величину коэффициента риска, приведенного в НРБУ-97. Общее количество ожидаемых стохастических эффектов для населения страны или ее региона определяется величиной коллективной эффективной дозы, а их частота – средней дозой. Из природных источников наибольшее значение имеет радон и его ДП, находящиеся в воздухе жилых помещений. Его вклад в суммарную среднюю дозу составляет около 1/3. Существенное снижение ожидаемых последствий облучения населения может быть достигнуто только путем снижения доз от природных источников излучения.

Особую актуальность представляет обеспечение радиационной безопасности человека и снижение уровня облучения населения в жилых помещениях. По оценкам НКДАР ООН около 80% времени население промышленно развитых стран проводит в жилых и общественных помещениях. Накопление эпидемиологической информации о воздействии радона и его ДП, находящихся в воздухе жилых домов, позволит уточнить значение коэффициента риска для этого вида облучения. Такие исследования в настоящее время планируется провести в г. Киеве с целью получения надежных, статистически достоверных результатов.

1. Крисюк Э.М., Иванов С.И. Приоритетные задачи обеспечения радиационной безопасности. – АНРИ. – 2000. – №3. – С. 54–64.
2. Бондаренко В.М., Демин Н.В. Аэроионы в помещениях Московской государственной геологоразведочной академии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2001. – № 4. – С. 25–36.
3. Бровцын А.К. Радиационная экология минералов и материалов // Жилищное строительство. – 1997. – № 7. – С. 9.
4. Брунарски Л., Кравчик М. Естественная радиоактивность строительных материалов // Бетон и железобетон. – 1990. – № 7. – С. 44–46.
5. Горицкий А.В., Лихтарев Т.М., Лось И.П. Радиоактивность строительных материалов. – К.: Будівельник, 1990. – 38 с.
6. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 119 с.
7. Pavlenko T.A., Los P.I., Aksenov N.V. Indoor radon and irradiation doses in the territory of the Ukraine. // Radiation Measurements. – 1996. – Vol. 26. – №4. – P. 585–591.
8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К.: МОЗ України, 1997. – 121 с.

задач по ускорению социально-экономического развития и уровня общественного здоровья. Тесно взаимосвязаны направления исследований в области дозиметрии и радиобиологии, методологии нормирования (регламентирования) и разработки многообразных аспектов защиты, прогнозирования уровней воздействия радона на человека. Существуют серьезные задачи по оптимизации контроля за уровнем радона в помещениях. Ставится вопрос о необходимости контроля за воздействием новых и давно известных, но малоизученных источников, в частности естественных радионуклидов, содержащихся в удобрениях и выбросах ТЭС (сжигание угля).

Уровни облучения радоном являются стихийно сложившимися. Основная часть этой дозы формируется за счет ингаляции ДП изотопов радона, их осаждения на поверхность бронхиального и легочного эпителия, и облучения росткового (базального) слоя эпителия альфа-излучением ДП изотопов радона [1]. Важным параметром, определяющим эквивалентную ОА изотопов радона в воздухе жилых помещений и обусловленную ею дозу облучения людей, является скорость поступления радона в воздух помещения [6]. В радиобиологии главное внимание должно быть уделено чрезвычайно важному вопросу – “эффекту малых доз” и в связи с этим – изучению зависимости “доза – частота рака” при действии малых доз. Необходим прогресс в области теории, в том числе методологии обоснования гигиенических регламентов. Одно из требований радиационной гигиены сводится к тому, что даже при соблюдении гигиенических регламентов следует стремиться к снижению доз облучения. Важной задачей является изучение эффектов сочетанного и комбинированного действия ионизирующих излучений и других факторов окружающей среды.

Необходима комплексная разработка гигиенических и экологических регламентов, обеспечивающих как полную радиационную безопасность для населения, так и экологическое равновесие в радоноопасных зонах. Мерой вероятности возникновения последствий от воздействия радона является эффективная доза. Числовое значение вероятности возникновения онкологических заболеваний с летальным исходом и эквивалентных по значимости других эффектов может быть получено путем умножения значения эффективной дозы на величину коэффициента риска, приведенного в НРБУ-97. Общее количество ожидаемых стохастических эффектов для населения страны или ее региона определяется величиной коллективной эффективной дозы, а их частота – средней дозой. Из природных источников наибольшее значение имеет радон и его ДП, находящиеся в воздухе жилых помещений. Его вклад в суммарную среднюю дозу составляет около 1/3. Существенное снижение ожидаемых последствий облучения населения может быть достигнуто только путем снижения доз от природных источников излучения.

Особую актуальность представляет обеспечение радиационной безопасности человека и снижение уровня облучения населения в жилых помещениях. По оценкам НКДАР ООН около 80% времени население промышленно развитых стран проводит в жилых и общественных помещениях. Накопление эпидемиологической информации о воздействии радона и его ДП, находящихся в воздухе жилых домов, позволит уточнить значение коэффициента риска для этого вида облучения. Такие исследования в настоящее время планируется провести в г. Киеве с целью получения надежных, статистически достоверных результатов.

1. Крисюк Э.М., Иванов С.И. Приоритетные задачи обеспечения радиационной безопасности. – АНРИ. – 2000. – №3. – С. 54–64.
2. Бондаренко В.М., Демин Н.В. Аэроионы в помещениях Московской государственной геологоразведочной академии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2001. – № 4. – С. 25–36.
3. Бровцын А.К. Радиационная экология минералов и материалов // Жилищное строительство. – 1997. – № 7. – С. 9.
4. Брунарски Л., Кравчик М. Естественная радиоактивность строительных материалов // Бетон и железобетон. – 1990. – № 7. – С. 44–46.
5. Горицкий А.В., Лихтарев Т.М., Лось И.П. Радиоактивность строительных материалов. – К.: Будівельник, 1990. – 38 с.
6. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 119 с.
7. Pavlenko T.A., Los P.I., Aksenov N.V. Indoor radon and irradiation doses in the territory of the Ukraine. // Radiation Measurements. – 1996. – Vol. 26. – №4. – P. 585–591.
8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К.: МОЗ України, 1997. – 121 с.

9. Kunsch В., Steger F. Die Vomorm S 5200 "Radioaktivitat in Baustoffen" // Zement und Beton. – 1987. – №4. – P. 152–154.
10. Назиров Р.А., Коваленко В.В., Куркатов С.В. Распределение удельной эффективной активности естественных радионуклидов в строительных материалах Красноярского края // Известия Академии промышленной экологии. – 2000. – № 2. – С. 37–40.
11. Сыромятников Н.Г. Экологическая значимость содержания естественных радионуклидов в подземных водах на участках рудных месторождений и населенных пунктов Казахстана // Геология Казахстана. – 2001. – № 1. – С. 73–79.
12. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). – М.: Минздрав России, 1999.
13. Гращенко С.М., Драшлин С.Е., Келло А.Н. Очистка подземной воды источника хозяйственно-питьевого водоснабжения от железа и радона // Экологическая химия. – 2001. – 10(2). – С. 135–140.
14. Снытко А.С., Решетов В.В., Кузнецов А.Г., Тихонов В.П. Новый способ снижения эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона в жилых и рабочих помещениях // Междунар. конф. "Экологическая безопасность на пороге XXI века", Санкт-Петербург, тез. докл. – С-Пб.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 1999. – С. 181.
15. Стернгласс Э.Дж. Радиоактивность // Химия окружающей среды. Пер. с англ. /Под. ред. А. П. Цыганкова. – М.: Химия. – 1982. – 414 с.
16. Черник Д.А., Титов В.К., Венков В.А. Радон в зданиях и подстилающих горных породах. // Атомная энергия. – 1997. – т. 82. – Вып. 4. – С. 315–317.
17. Титов В.К., Венков В.А., Авдеева Т.Л., Кувшинникова Е.И. Экспозиционные методы поисков месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра. – 1985. – 254 с.
18. Шнитковский А.Ф., Голована Е.Г., Казанцева И.В., Трубина М.А. Безопасность жилых зданий при повышенной концентрации радона в помещениях // Сейсмостойкое строительство. – 2000. – № 2. – С. 37.
19. Кузнецов А.Г., Снытко А.С., Угаров В.А. Снижение радоноопасности помещений с помощью генераторов с холодной эмиссией электронов // АНРИ. – 1996–1997. – № 2. – С. 18–22.
20. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация № 65 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
21. Recommendations Issued by the National Swedish Board of Urban Planning and Building. – 1982. – 3 p.

Розглянуто питання зменшення впливу радону в районах його підвищеного вмісту в приміщеннях, воді, будівельних матеріалах. Наведено характеристики природної радіоактивності будівельних матеріалів, описано методи контролю вмісту природних радіонуклідів в сировині для будівельних матеріалів і захисні засоби для зменшення потужності дози радону в приміщеннях.

Question of radon's influence decrease in regions of its heightened content in premises, water and building materials has been considered. Characteristics of natural radioactivity of building materials have been produced, methods of control of natural radionuclids' content in raw building materials and features for radon's doses decrease in premises have been described.