

УДК 539.16:616.001.28/.29(476)

А. Ф. Мирончик, канд. техн. наук, доц.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ И ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Приведены сведения по содержанию естественных радиоактивных веществ в объектах окружающей среды, путях поступления земных радионуклидов в атмосферу и воздух жилых помещений. Указаны радоноопасные регионы на территории республики, а также пути совершенствования организации и эффективности радонового мониторинга. Изложены результаты экспериментов по содержанию радона в воздухе жилых помещений в зависимости от этажности зданий.

Населению Республики Беларусь (РБ) присуща твердая уверенность в том, что главным источником радиоактивного облучения организма являются радионуклиды Чернобыльского происхождения. Тем не менее, проанализировав имеющиеся в литературе данные по вкладу отдельных источников радиоактивного облучения в облучение населения, выясняется, что это справедливо только для тех регионов республики, где дозовые нагрузки за счет чернобыльских радионуклидов выше уровня, обусловленного действием природных источников радиоактивного излучения. Доподлинно установлено, что основной вклад (60–90 %) в дозу облучения населения Земли вносят естественные источники радиоактивных излучений, к которым относятся и природные (естественные) радионуклиды (ЕРН), вклад которых существенно превышает долю космического излучения. Средний уровень годовой дозы, обусловленный внешним облучением за счет ЕРН, присутствующих во всех природных средах (почве, приземном воздухе, гидросфере, биосфере), составляет приблизительно 0,35 мЗв/г., а доза внутреннего облучения человека за счет ЕРН, попадающих в организм с воздухом, пищей и водой, оценивается в 1,5 мЗв/г. Она, в основном, формируется долгоживущими изотопом калия (^{40}K), изотопом радия (^{226}Ra), а также короткоживущими изотопами радона (^{222}Rn , ^{220}Rn) и их дочерними продуктами распада (ДПР).

В средней части таблицы Менделеева находятся 12 ЕРН с большим периодом полураспада (^{40}K , ^{28}Ca , ^{132}Ce , ^{115}In , ^{138}La , ^{87}Rb и др.). В некоторых регионах РБ активность ^{40}K достигает 37–74 Бк/м². Содержание радионуклидов в почве и в некоторых веществах приведено в табл. 1 и 2. Распределение активности некоторых радионуклидов в биосфере представлено в табл. 3, а содержание ^{40}K в окружающей среде – в табл. 4. Если на территорию республики распространить среднемировые значения по дозе облучения, получаемой человеком от ЕРН, то суммарная дозовая нагрузка на жителя Беларуси от природных источников радиоактивных излучений может быть оценена в 2,2 мЗв/г. По оценке Международной комиссии радиационной защиты (МКРЗ) воздействие радона и его ДПР обуславливает 50–75 % годовой индивидуальной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от естественных источников ионизирующего излучения.

Этот факт специалистами в области радиационной безопасности установлен сравнительно недавно и сейчас во всем мире ведутся интенсивные исследования в этой области. По оценке МКРЗ доза излучения, обусловленная вдыханием радона и ДПР, изменяется в пределах от значений, в 2 раза меньших средней дозы, до значений, превышающих среднюю в 10–100 раз.

Табл. 1. Содержание радионуклидов в некоторых веществах

Объект	Радионуклид, Бк/кг				
	Калий-40	Свинец-210	Радий-226	Торий-232	Уран-238
Пресная вода	168	$(3-8) \cdot 10^{-3}$	$(4-400) \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Древесина	130-750	11-40	7	0,6-5	0,06-0,5
Почва	440 (0,2-1200)	75-6300	30(7-180)	37(4-78)	

Примечание – Вне скобок приведены средние значения, в скобках - нижний и верхний пределы

Табл. 2. Природные радионуклиды в почвах

Нуклид	Активность почвы, Бк/кг	Нуклид	Активность почвы, Бк/кг
Углерод-14	4 (1,5-6)	Радий-226	30 (71-80)
Калий-40	440	Торий-230	100
Свинец-210	75-6300	Торий-232	36
Полоний-210	8-220	Торий	26
Рубидий-87	140	Уран-238	24 (8-110)

Примечание – Вне скобок приведены средние значения, в скобках - нижний и верхний пределы

Табл. 3. Распределение активности некоторых радионуклидов в различных частях биосферы

Радионуклид	Объемная или удельная активность
^3H	200-900 Бк/м ³ (гидросфера)
^7Be	$3 \cdot 10^{-3}$ Бк/м ³ (воздух)
^{14}C	227 Бк/кг (биосфера)
^{40}K	60 Бк/кг (биосфера)
^{87}Rb	629 Бк/кг (гидросфера)
^{226}Ra	0,1-2,7 Бк/кг (гидросфера); 3,7-48 Бк/кг (почва)
^{222}Rn	0,1-10 Бк/м ³ (воздух вне здания); 5-25 Бк/м ³ (воздух в здании)
^{238}U	1,2 мкБк/м ³ (воздух); 10-20 Бк/кг (почва); 0,24 мБк/кг (гидросфера)
^{232}Th	7-50 Бк/кг (почва)

Табл. 4. Содержание ^{40}K в окружающей среде

Источник ^{40}K	Активность ^{40}K , Бк/кг	Источник ^{40}K	Активность ^{40}K , Бк/кг
Известняк	30–40	Орехи	210
Гранит	925–1200	Клюква	355
Песчаники	300–400	Грибы	277
Фосфатно-калийные удобрения	5900	Азотно-фосфорно-калийные удобрения	1200–5900
Почва	37–1100	Горох	273
Зерновые	18,5–159	Молоко	30–45
Овощи свежие	40–174	Говядина	60–90
Картофель	174		

Согласно данным Национального комитета радиационной защиты (НКРЗ) США население Америки подвергается воздействию радона, которое оценивается средней годовой дозой в 2 мЗв на одного человека. Это превышает Чернобыльский вклад в облучение населения Беларуси, поскольку в настоящее время среднегодовая индивидуальная доза, приходящаяся на человека, обусловленная загрязнением ^{137}Cs , оценивается в республике в 0,25 мЗв/г. Характерная особенность изотопов радона – способность создавать на соприкасающихся с ними телах радиоактивный осадок, состоящий из дочерних продуктов радиоактивного распада радона – короткоживущих и долгоживущих изотопов полония (^{210}Po и ^{218}Po), свинца (^{214}Pb и ^{210}Pb), висмута (^{214}Bi).

Поступление радона в воздух помещений и сооружений, в основном, связано с геологическим пространством территории застройки (рис. 1). Высокие концентрации радона в почвенном воздухе образуются:

- при неглубоком залегании гранитных пород и хорошо проницаемых осадочных отложений, перекрывающих их;

- в зонах тектонических нарушений, проникающих в осадочный чехол и являющихся путями миграции радона;

- в зонах палеоврезов, заполненных хорошо проницаемыми песчано-гравийными отложениями, при неглубоко залегающих гранитных породах фундамента;

- в зонах развития моренных радоногенерирующих отложений.

Образующиеся в результате распада радона в воздухе его ДПР тут же прикрепляются к микроскопическим пылинкам-аэрозолям, которые, попадая в легкие, обуславливают свыше 97 % дозы облучения, связанной с радоном. Основной медико-биологический эффект облучения от радона и его ДПР – рак легких. По оценкам экспертов МКРЗ облучение населения за счет радона и его ДПР обуславливает до 20 % общего количества этого заболевания (вторая по значимости причина после курения). Необходимо отметить, что на курящих радон действует гораздо сильнее, чем на некурящих, что связано с так называемым мультипликативным взаимодействием курения и облучения ДПР радона. Пребывание в домах, построенных на территориях, подстилаемых геологическими формациями, содержащими уран, приводит к дополнительному внешнему и внутреннему облучению, так как в домах радон может накапливаться в концентрациях в 10–100 раз и более по

сравнению с открытым воздухом. Так как человек большую часть своей жизни (до 80 % времени) проводит в помещениях (жилье, рабочее место), то полагают, что

среднегодовая концентрация радона в них в 20 Бк/м^3 формирует индивидуальную дозовую нагрузку в 1 мЗв/г .

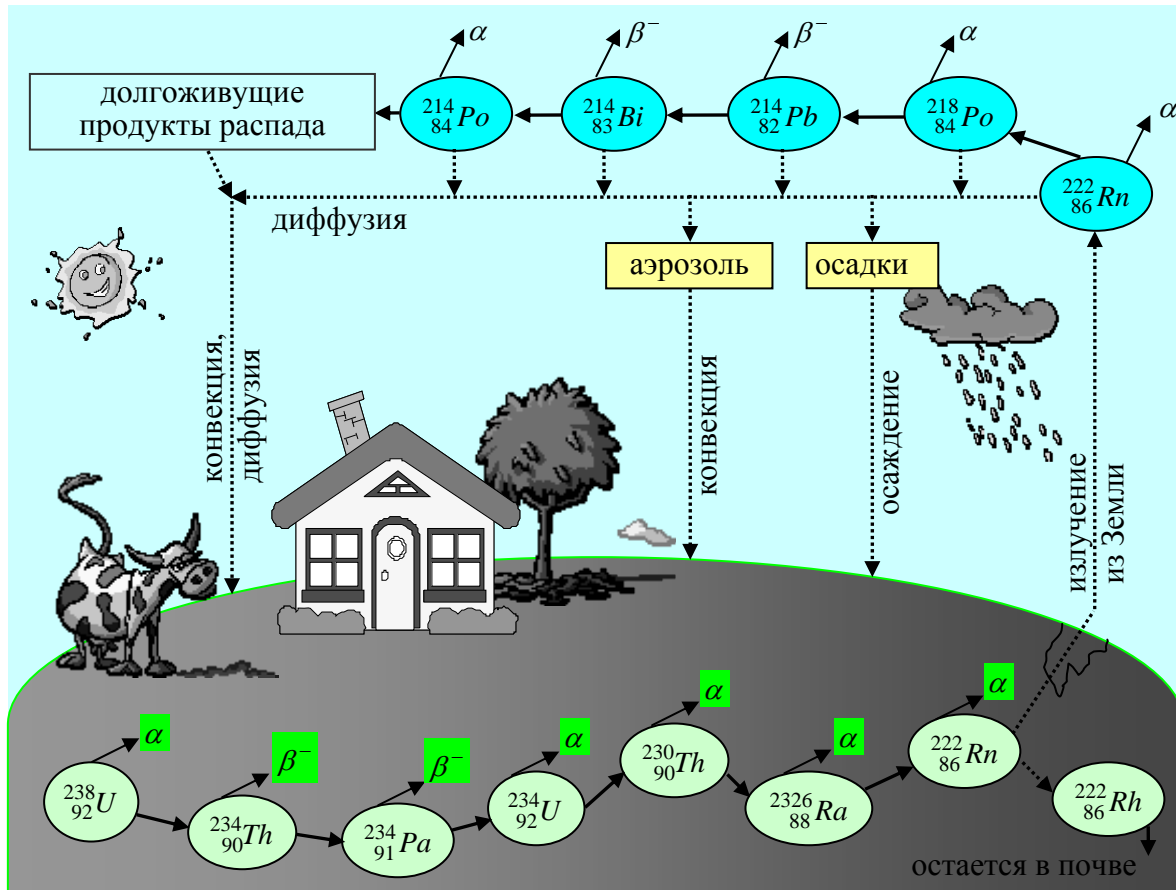


Рис. 1. Поступление радона и его дочерних продуктов распада в приземный атмосферный воздух из почвы

С геологической точки зрения около 40 % территории Беларуси являются потенциально радоноопасными, что связано как с неглубоким залеганием генерирующих радон гранитоидов кристаллического фундамента, так и с активными зонами тектонических нарушений, которые по данным геофизических исследований имеют значительное распространение на территории республики. О радоноопасности территории Беларуси говорят и данные ПО «Беларусгеология» о значительном содержании радона в подземных водах. В

1984 г. ПО «Беларусгеология» на территории Гродненской области впервые были установлены аномально высокие (до $26,9 \text{ кБк/м}^3$) концентрации радона в почвенном воздухе тектонически ослабленных зон, что в 5–20 раз превышало фоновые. Несколько позже установлено аномальное распределение радона в почвенном воздухе надразломных зон в пределах Воложинского грабена. В 1994–1996 гг. исследованиями геофизической экспедиции ПО «Беларусгеология» аномально высокие содержания

радона в почвенном воздухе надразломных зон установлены на Скидельском, Рогачёвском, Дубровенском и Горецко-Шкловском участках. При среднефоновых концентрациях около $1,0 \text{ кБк/м}^3$ содержание радона в почвенном воздухе зон активных разломов возрастает до $15,0\text{--}25,0 \text{ кБк/м}^3$. Аналогичные данные получены при радиометрическом обследовании зон активных разломов Минска и окрестностей. Например, исследования содержания радона в квартирах в летнее время показали, что по Минску и в большинстве городов республики оно составляло $30\text{--}35 \text{ Бк/м}^3$, а в Дзержинском районе Минской области – достигало 400 Бк/м^3 . Как наиболее потенциально радоноопасные выделены следующие территории:

- на юге республики – зоны, связанные с Микашевичско-Житковичским горстом и выступами Украинского кристаллического щита, а также зоны, связанные с выходом пород фундамента Белорусского кристаллического массива в районе долины р. Неман на западе республики;

- на западе и северо-западе республики – зоны, связанные с активными тектоническими разломами Белорусского кристаллического массива, залегающими на относительно небольших глубинах.

Исследования радона в воздухе помещений на территории Беларуси осуществляются с 1992 г. Научно-исследовательским институтом промышленной и морской медицины Минздрава России в 1992 г. выполнен ряд измерений концентрации радона в воздухе и воде в населённых пунктах 42 районов Гомельской и Могилёвской областей. Среднее значение концентрации радона составило $61,2 \text{ Бк/м}^3$; средняя доза облучения населения оценивается в $1,1 \text{ мЗв/г}$. В целом, радиационно-гигиеническая обстановка в отношении облучения радоном в этих двух областях оценивается как удовлетворительная. Это подтверждает тот факт, что соответственно 95,4 и 96,2 % значений равновесной концентрации радона всех выпол-

ненных измерений находятся в диапазоне до 100 Бк/м^3 (нормативный уровень реагирования).

В процессе обследования по программе радонового мониторинга в 1991–1992 гг. сельских районов выявлены отдельные дома, питьевые колодцы и участки территорий, на которых регистрировались концентрации радона, превышающие установленные уровни вмешательства. В различных районах области вероятность выявления зданий с концентрацией радона свыше 200 Бк/м^3 составляет от 0,1 до 2,3 %; 3,8 % обследованных жилых домов содержали изотопы радона выше норматива, принятого для проектируемых зданий 100 Бк/м^3 . В ходе обследования в области было обнаружено до 40 колодцев, вода которых содержала высокие концентрации радона – более 10 кБк/м^3 . Информация представлена результатами исследований содержания радона и его эквивалентной равновесной концентрации в 6015 жилых и общественных эксплуатируемых зданиях 100 населённых пунктов области и результатами обследований вновь построенных 269 жилых домов в различных населённых пунктах области. На основании коллективных доз облучения сельского населения области рассчитана вероятность отдалённых последствий воздействия радона и его продуктов распада. Проведенные расчёты показали, что количество дополнительных случаев рака лёгких от радона составляет примерно 10 % от спонтанного числа заболеваний.

В рамках программы совместной деятельности Министерства по чрезвычайным ситуациям и Республиканского центра гигиены и эпидемиологии выполнялись исследовательские работы в населённых пунктах Бакшты, Ивье Ивьевского района, Мельковичи, Негорелое Дзержинского района, Крутой Берег Несвижского района, Першай Воложинского района, городах Солигорск, Краснополье, Чериков. Оцененные дозы облу-

чения населения за счёт радона и его ДПР в обследованных населённых пунктах находятся в пределах 0,22–0,80 мЗв/г., среднее значение – 0,48 мЗв/г.

Потенциально опасными, оказывающими основное воздействие на организм человека, источниками радона и продуктов его распада являются почва и горные породы, строительные материалы, воздух и вода. Почва и горные породы являются как непосредственными источниками радона, так и природными материалами, которые используются в строительстве (песок, глина, гранит, ил). Применяемые в ряде случаев в строительстве радиоактивные строительные материалы являются, как правило, побочной продукцией, технологическими отходами (фосфогипс, доменный шлак, алюмосиликатный кирпич, зольная пыль). Использование некоторых из них в настоящее время запрещено из-за относительно высокого содержания радиоактивных элементов. Из строительных материалов наименьшей удельной активностью обладает древесина (ниже 1 Бк/кг); активность бетона в зависимости от исходных компонентов (песок и цемент) в 30–50 раз выше.

Радионуклиды ^{238}U , ^{232}Th , возглавляющие радиоактивные семейства, присутствуют в породах и минералах природного происхождения, хотя и в малых концентрациях (средние значения для ^{238}U – 33 Бк/кг, для ^{232}Th – 34 Бк/кг). При их распаде образуются три α -радиоактивных изотопа радона:

- ^{219}Rn (член ряда актиноурана, $T_{1/2} = 3,92$ с);
- ^{220}Rn (ряд тория, $T_{1/2} = 54,5$ с);
- ^{222}Rn (ряд урана-радия, $T_{1/2} = 3,823$ сут).

Изотоп ^{219}Rn называют также актиноном (символ An), ^{220}Rn – тороном (Th), а ^{222}Rn называют истинным радоном и часто обозначают просто символом Rn. Изотопы радона (^{222}Rn и ^{220}Rn) через трещины и поры в породах земной поверхности и строительных изделиях непрерывно поступают в атмосферный воздух, в жилые и рабочие помещения (рис. 2).

Из материалов радон выделяется в процессах эманации (выделения из кристаллической решетки) и эксхалации (испарение или выделение с поверхности). Факторы, определяющие накопление радона в воздухе помещений, подразделяют на: естественные (степень радоноопасности территории застройки; условия окружающей среды (температура, влажность, перепад давлений, ветровые режимы, время дня, сезон года и др.); естественные пути миграции радона в здание (по факту структуры территории и источников газа)) и технологические решения проектируемого или существующего здания-сооружения (материал строительных конструкций, отделки и покрытия внутренних стен, проведения коммуникаций, этажность, количество жильцов в доме и др.); режимы эксплуатации объектов и деятельность лиц, проживающих в здании (естественная и принудительная вентиляция, отопление, состояние окон и дверей, интенсивность использования помещений, в том числе подвальных и т. п.); формирование путей проникновения и миграции газа в проектируемой или существующей конструкции здания-сооружения (табл. 5).

По степени радоноопасности помещения классифицируют на потенциально радоноопасные (подвальные без уплотненного пола и без приточной активной вентиляции); предположительно радоноопасные (остальные подвальные и полуподвальные помещения, первый этаж); потенциально нерадоноопасные (помещения выше первого этажа). Содержание изотопов радона и их ДПР в воздухе характеризуют следующими величинами:

- объёмной активностью изотопов радона и их ДПР в единице объёма воздуха $A_{об}$, Бк/м³;
- скрытой (потенциальной) энергией α -излучения радона и его ДПР E_c , Дж/м³ (МэВ/л);

– эквивалентной равновесной $A_{\text{ЭКВ}}$, Бк/м³ (пКи/л);
 концентрацией (ЭРК) изотопов радона – рабочим уровнем (РУ).

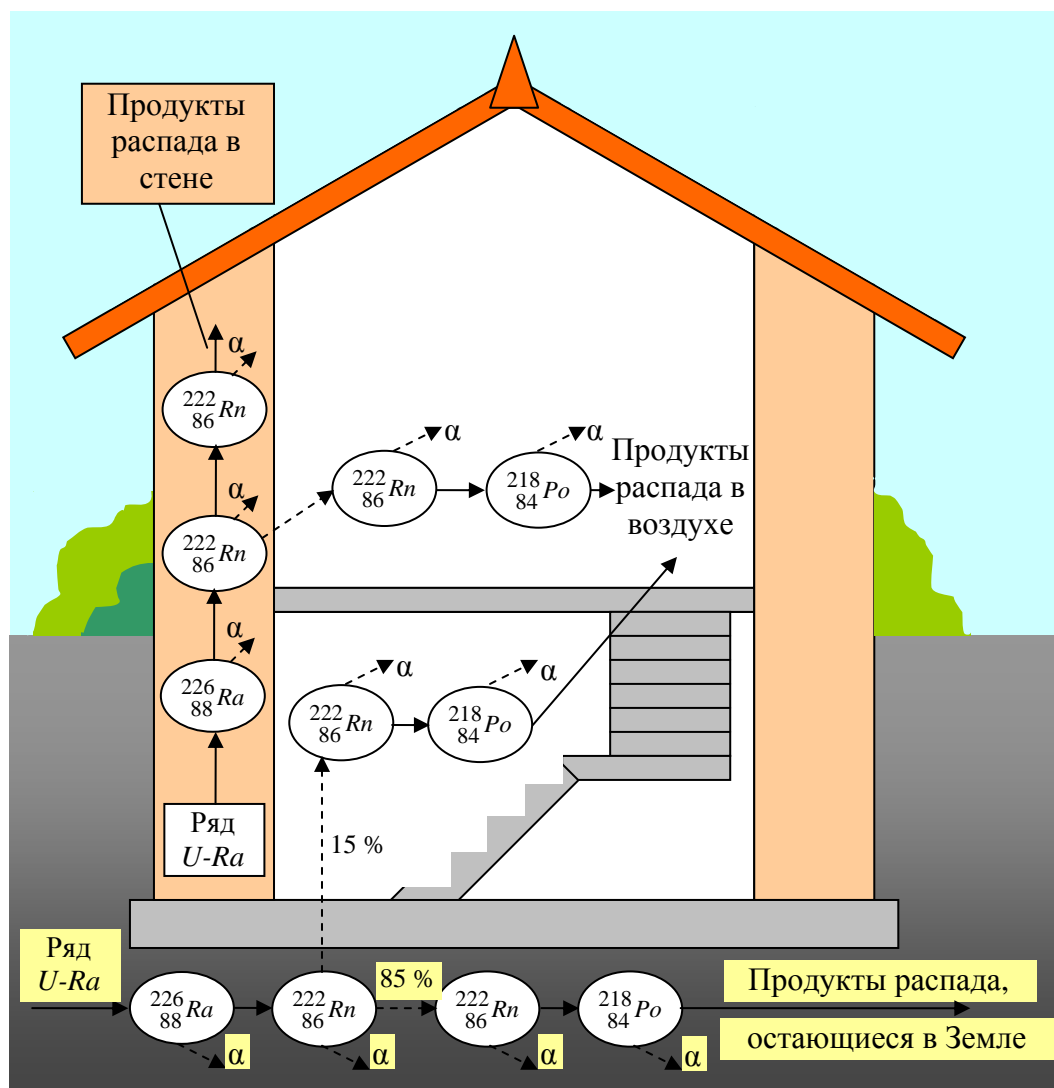


Рис. 2. Поступление радона в жилые помещения

Табл. 5. Сопоставление мощности различных источников радона в типичном доме

Источник радона	Мощность, кБк/сут	Относительная влажность, %
Почва и горные породы под зданием	40–60	60–70
Строительные материалы	10–30	7–12
Природный газ	2	3
Атмосферный воздух (воздухообмен)	13	8–12
Вода	5	3–7
Другие источники	2	2

Определение радоносодержания в воздухе с пробоотбором на углеродные волокнистые сорбенты проводят гамма-радиометрическим методом, отличающимся простотой, возможностью использования стандартного гамма-спектрометрического либо радиометрического оборудования, эффективностью сорбции радона, а также тем, что позволяет проводить исследования в лабораторных условиях.

Аппаратурную базу составляют:

– сцинтилляционные гамма-радиометры (РКГ-01 АЛИОТ, РКГ-02 АЛИОТ, РКГ-02С АЛИОТ, РКГ-03 АЛИОТ, РКГ-05, РКГ-07П ВИТЯЗЬ, РКГ-01А, РКГ-02А);

– гамма-спектрометры (LB-200, EL-1308 (МКГ-1308), EL-1309 (МКГ-1309), EL-1315 (МКГ-1315));

– гамма-радиометры серии РКГ-АТ1320 и гамма-спектрометры серии МКГ-АТ132 (промышленные разработки УП «Атомтех»).

Концентрации радона в верхних

этажах многоэтажных домов, как правило, ниже, чем в цокольном помещении и на первом этаже (рис. 3). Скорость проникновения исходящего из земли радона в помещения фактически определяется толщиной и целостностью (т. е. количеством трещин и микротрещин) межэтажных перекрытий. Несмотря на то, что дерево выделяет совершенно ничтожное количество радона по сравнению с другими материалами, концентрация радона в деревянных домах может быть порой выше, чем в кирпичных. Это объясняется тем, что деревянные дома, как правило, имеют меньше этажей, чем кирпичные, и, следовательно, комнаты находятся ближе к земле – основному источнику радона. В воздухе помещений большинства зданий среднегодовые концентрации радона и его ДПР не превышают 40 Бк/м^3 и только в 1–1,5 % домов эти концентрации могут быть более $100\text{--}1000 \text{ Бк/м}^3$.

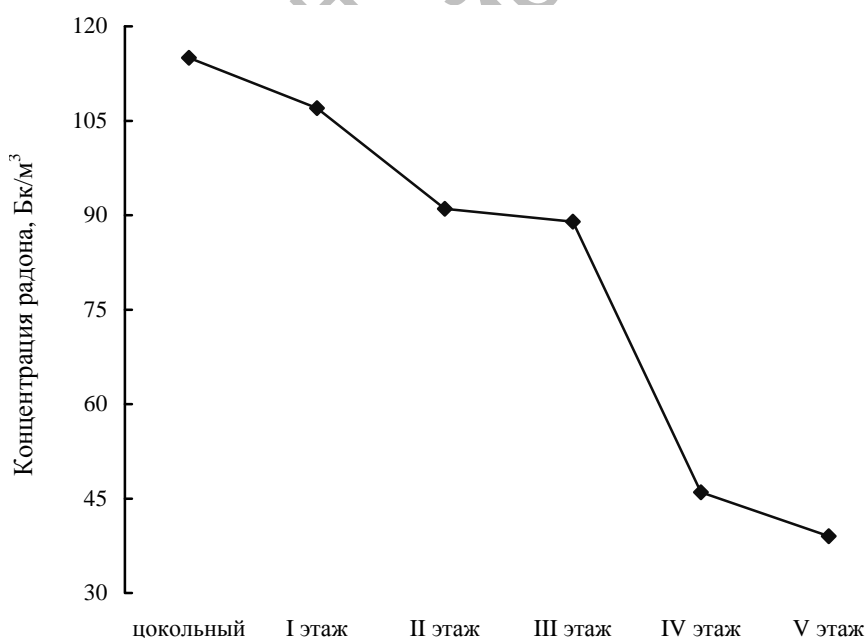


Рис. 3. Зависимость концентрации радона от этажности здания

Менее важными источниками поступления радона в жилые помещения являются вода и природный газ. Концентрация радона в питьевой воде чрезвычайно мала, но вода из некоторых источников, особенно из глубоких колодцев или артезианских скважин, содержит много радона. Использование питьевой воды не так опасно для человека (при кипячении воды радон быстро улетучивается), как попадание паров воды с высоким содержанием радона в легкие вместе с вдыхаемым воздухом, что чаще всего происходит в ванной комнате. При обследовании домов, для водоснабжения которых используется вода, содержащая радон, оказалось, что в среднем концентрация радона в ванной комнате примерно в три раза выше, чем на кухне, и приблизительно в 40 раз выше, чем в жилых комнатах.

В 80-е гг. в ряде стран были приняты нормативы, регламентирующие содержание радона в жилых помещениях. В большинстве стран установлены следующие контрольные уровни для среднегодовой эквивалентной равновесной концентрации радона в жилищах (в предположении, что человек проводит в помещениях в среднем 80 % времени):

- во вновь строящихся домах – не более 50–100 Бк/м³ (в Беларуси 100 Бк/м³);
- для существующих жилищ – не более 100–400 Бк/м³ (в Беларуси не более 200 Бк/м³).

Из соотношения риск-экспозиция следует, что, прожив в квартире с концентрацией радона, например, 200 Бк/м³ всю жизнь, среднестатистический житель получит суммарную дозу около 800 мЗв. При концентрации радона в воздухе помещений (после проведения всех профилактических мероприятий) около 400 Бк/м³ должен решаться вопрос о переселении, так как есть опасность после 25–30 лет жизни в таком доме накопить дозу, при которой риск заболевания составит 2,5 %.

При проведении строительства новых зданий в радоноопасных районах необходима специальная изоляция от про-

никновения в них почвенного воздуха с помощью специальной пластиковой пленки по всей площади дома. Эффективным средством уменьшения количества радона, просачивающегося в дом через щели в полу, является его герметизация с одновременным принудительным вентилированием несколько раз в сутки подвальных помещений. Кроме того, эмиссия радона из стен уменьшается в 10 раз при облицовке стен пластиковыми материалами типа полиамида, поливинилхлорида, полиэтилена или после покрытия стен слоем краски на эпоксидной основе или тремя слоями масляной краски. Даже при оклейке стен обоями скорость эмиссии радона из стен уменьшается примерно на 30 %. Следует постоянно иметь в виду, что концентрация радона в помещениях также возрастает при недостаточном их проветривании.

Имеющиеся в республике на настоящий момент данные о содержании радона в почвенном и атмосферном воздухе, а также в воде подтверждают актуальность радиационно-гигиенических обследований воздушной среды в зданиях жилого фонда и социально-бытового назначения, а также подземных вод с целью выявления повышенного содержания радона. Реализация программы, подобно Российской федеральной целевой программе «Снижение уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994–1996 гг.» (программа «Радон»), в перспективе может обеспечить снижение средней дозы облучения населения РБ на 20–25 %, т. е. уменьшит риск заболевания значительной доли населения республики. Нормативно-правовая база радонового мониторинга в республике на настоящий момент включает Закон РБ «О радиационной безопасности населения», (ст. 13) (1998 г.); раздел «Радиационная безопасность» Государственной программы Республики Беларусь по пре-

одолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (2006 г.); «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-2000); «Основные санитарные правила» (ОСП-2002); «Положение о радиационном контроле и эксплуатации зданий и сооружений с учетом уровня содержания в них радона и гамма-излучения природных нуклидов»; «Порядок проведения обследования зданий, сооружений и конструкций на радонобезопасность», руководящий документ Минстройархитектуры; «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий» МУК РБ № 11-8-6-2002; «Положение о радиационном контроле питьевой воды в системе Министерства жилищно-коммунального хозяйства».

Для организации действенного радонового мониторинга и эффективности мониторинговых работ необходимо формирование критериев потенциально опас-

ных по содержанию естественных радионуклидов площадей в пределах застроенных и перспективных к застройке территорий, на которых в дальнейшем будет осуществляться радиационно-гигиеническое обследование, и совершенствование нормативной документации для содержания ЕРН в объектах окружающей среды и строительных материалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мирончик, А. Ф.** Экологическая безопасность: жилье, строительные материалы / А. Ф. Мирончик, И. С. Селезнева // Интерстроймех-2002 : тез. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : МГТУ, 2002. – С. 281–284.
2. **Мирончик, А. Ф.** Экологическая безопасность жилья, строительных материалов и здоровье населения / А. Ф. Мирончик // Вестн. МГТУ. – 2003. – № 1(4). – С. 123–127.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 28.06.2007

A. F. Mironchik
Natural radioactive substances in atmosphere and air of places fit to live in of the Republic of Belarus
Belarusian-Russian University

The items of information on the contents of natural radioactive substances in objects of the environment, ways of receipt of terrestrial radioactive nuclides in an atmosphere and air of places fit to live in have been given. Radon dangerous regions on the territory of the republic and the way of perfection of organization and efficiency of radon monitoring have been named. The results of experiments on radon content in the air of places fit to live in depending on number of storeys have been given.