

Высоцкий С.П., д.т.н.¹, Ленский В.Г.,²

1 – АДИ ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка; 2 – ДонНАСА, г. Макеевка

СНИЖЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ В БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены проблемы радиационной опасности, обусловленные поступлением радона в жилые помещения. Приведен анализ рисков в результате воздействия радона на человеческий организм. Проанализированы пути поступления радона в жилые помещения и выполнена оценка методов улучшения микроклимата помещений. Показано, что в результате применения мероприятий по энергосбережению, снизилась эффективность вентиляции помещений и увеличилась опасность накопления в них вредных загрязнений.

Состояние проблемы

Радиация существовала на земле всегда: до появления человека и даже до возникновения жизни. Природная, естественная радиация сопровождает нас в течении всей нашей жизни.

Установлено, что основной радиационный фон на планете создается за счет естественных источников излучения. По данным ученых в суммарной дозе, накапливаемой среднестатистическим человеком на протяжении всей жизни, доля естественных источников радиации составляет 87 %. Оставшиеся 13 % приходятся на источники, созданные человеком. Из них 11,5 % (или почти 88,5 % «искусственной» составляющей дозы облучения) формируется за счет использования радиоизотопов в медицинской практике. И только оставшиеся 1,5 % являются результатом последствий ядерных взрывов, выбросов атомных электростанций, утечек из хранилищ ядерных отходов и т. п. Однако лишь относительно недавно стало известно, что «пальму первенства» по влиянию на здоровье человека естественных источников радиации уверенно держит радон. Расчеты, проведенные в разных странах, показали, что воздействие радона формирует около половины дозы, получаемой человеком от всех источников радиации.

Радон представляет собой радиоактивный природный газ, абсолютно прозрачный, не имеющий ни вкуса, ни запаха. Радон является одним из газов радиогенного происхождения. К этим газам относят гелий, радон и аргон-40. Указанные газы обуславливают по образному выражению В.И. Вернадского, «газовое дыхание Земли». Радон образуется в недрах Земли в результате распада урана, который, хоть и в незначительных количествах, но входит в состав практически всех видов грунтов и горных пород. В процессе радиоактивного распада уран превращается в радий-226, из которого, в свою очередь, и образуется радон-222. Особенно велико содержание урана (до 2 мг/л) в гранитных породах. Радон присутствует, как и его материнские нуклиды, во всех строительных материалах и горных породах. Образующийся в процессе распада инертный газ тут же диффундирует через капилляры грунта, микротрещины горных пород, захватывается потоками других газов и, несмотря на ограниченное время жизни, может транспортироваться на значительные расстояния в земной коре и земной атмосфере.

В районах, где преимущественным породообразующим элементом является гранит, можно ожидать и повышенное содержание радона. Здесь действует простое правило: «Где граниты, там существует повышенная радоновая опасность». Радон постепенно просачивается из недр на поверхность, где сразу рассеивается в воздухе, в результате чего его концентрация остается ничтожной и не представляет опасности. Если принять во внимание то, что центральную часть Украины слагает одноименный кристаллический массив, с которым связана Центрально-Украинская радиогеохимическая провинция, вмещающая Кировоградский урановорудный район, то контуры радоноопасных зон в первом приближении могут быть определены, именно по геологическим данным – специалистами в области прогнозирования,

поисков и разведки урановых месторождений и специалистами по радиационной экологии [1].

Согласно практически неизвестной не только широким кругам украинской общест-венности, но и многим специалистам Публикации № 65 МКРЗ (Международной комиссии радиационной защиты) 1993 года, – «радоноопасная зона» может быть определена как зона, в которой около 1% жилищ имеют концентрацию радона в 10 раз превышающее среднее на-циональное значение» [2].

Газообразный радионуклид радон-222 (наряду с йодом-131, тритием (3H) и углеро-дом-14) не обнаруживается стандартными методами. При наличии обоснованного подозре-ния на наличие вышеперечисленных радионуклидов, в частности радона, необходимо испо-льзовать для измерений специальное оборудование. Опасность радона состоит в том, что он попадает в организм человека при дыхании и может вызвать пагубные для здоровья послед-ствия, прежде всего рак легких. По данным Службы Общественного Здоровья США (US Public Health service) радон – вторая по серьезности причина возникновения у людей ра-ка легких после курения.

Цель исследований – определение условий рисков поражения населения радоном и обоснование рекомендаций по снижению уровня его воздействия.

Изложение основного материала исследований

В мировой практике уделяется большое внимание предотвращению поражения насе-ления в результате воздействия радионуклидов. Степень риска от воздействия одного из на-иболее опасного источника приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Степень радонового риска (Агентство окружающей среды США) [3]

Концентрация радона			Ожидаемое количество смертей от рака лёгких, вызванного радоном, в расчёте на 100 тыс. чел.	Эквивалентный риск		
<i>nКи/л</i>	<i>Бк/м³</i>	<i>WL, МсВ/л</i>		Сравнимый уровень воздействия	Облучение внешнее, <i>бэр/год</i>	Сравнимый риск
200	7400	2	440–770	В 1000 раз больше уровня открытого пространства (ОП)	28,0	В 60 раз больше, чем от курения двух пачек сигарет в день
100	3700	1	270–630	В 100 раз больше уровня ОП	14,0	2000 рентгено-скопий в год
40	1480	0,4	120–380		5,6	Курение двух пачек сигарет в день
20	740	0,2	60–200	В 100 раз больше уровня ОП	2,8	Курение одной пачки сигарет в день
10	370	0,1	30–120	В 10 раз больше уровня помещения	1,4	500 рентгено-скопий в год
4	148	0,04	13–50	В 10 раз больше уровня ОП	0,56	Курение полпачки сигарет в день
2	74	0,02	7–30	Уровень в помещении	0,28	Риск некурящего
1	37	0,01	3–13	Уровень ОП	0,14	20 рентгено-скопий в год

Радон в 7,5 раз тяжелее воздуха, поэтому привлекает наибольшее внимание во всем мире в связи с проблемой качества воздушной среды в жилище. По данным обследований 20

домов в Финляндии средние значения концентрации радона в воздухе помещений имели следующие значения в $\text{кБк}/\text{м}^3$: ванная комната – 8,5; кухня – 3 и жилая комната – 0,20. Беспокойство по поводу необычно высокой концентрации радона в помещениях впервые возникло в конце 1960-х годов, когда на западе США обследовались дома, построенные из материалов, содержащих промышленные отходы. Затем и в Европе столкнулись с этой проблемой. В Швеции, Финляндии (особенно в Хельсинки) и в Великобритании были обнаружены дома, в которых концентрация радона в тысячи раз превышала типичные значения в наружном воздухе. Причиной являлась радоноопасность грунта и стройматериалов, а также борьба за экономию энергии. Для снижения потерь тепла дома в те годы стали особенно тщательно герметизировать. В результате на каждые 1530 $\text{МВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии, сэкономленной на отоплении благодаря герметизации помещений, шведы получили дополнительную дозу облучения 1 *чел.Зв*. Кроме того, в Швеции в течение нескольких десятилетий при производстве бетона использовались местные глинозёмы – с их применением построили около 700 тысяч домов, впоследствии обнаружили, что эти глинозёмы очень радиоактивны. Из других строительных материалов часто упоминаются гранит и пемза, которые широко использовались в Германии и России. Ещё один популярный материал – фосфогипс (побочный продукт, получаемый при переработке фосфорных руд, дешёвый заменитель природного гипса), широко применялся при изготовлении строительных блоков, штукатурки, перегородок и цемента. В одной только Японии в 1974 году было израсходовано 3 *млн. тонн* этого материала. Люди, живущие в «фосфогипсовых» домах, подвергались облучению, на 30 % более интенсивному, чем в обычных жилищах. Высокой радиоактивностью обладают отходы производства алюминия – красная глина и соответственно кирпич, производившийся из этого сырья [1].

По всему миру средняя концентрация радона принята на уровне 15 $\text{Бк}/\text{м}^3$. В Украине эта величина в 2–3 раза выше.

Радон проникает в дом в результате диффузии по пустотам в почве и в материалах, из которых построены дома. Радон может просачиваться через грунтовой пол, трещины в бетонном полу и стенах, через дренаж пола, водостоки, стыки, трещины или поры в стенах из пустотелых блоков.

Радон хорошо растворяется в воде, поэтому он содержится во всех природных водах, причем в глубинных грунтовых водах его, как правило, заметно больше, чем в поверхностных водостоках и водоемах. Например, в подземных водах его концентрация может быть в миллион раз выше, чем в озёрах и реках. Радон также хорошо растворяется в метане – основном компоненте природного газа.

Радон попадает из воды в атмосферу помещения, выделяясь из пузырьков воздуха, содержащихся в воде. Наиболее интенсивно это происходит при разбрызгивании, испарении или кипении воды (например, в душевой или парилке). Так, по данным исследований, проведенных в Канаде, удельная радиоактивность воздуха, обусловленная присутствием радона и его дочерних продуктов, в ванной комнате одного из домов в течение 7 минут работы теплового душа повысилась с 0,148 до 3,5 $\text{кБк}/\text{м}^3$, а после 22 – минут до 5,5 $\text{кБк}/\text{м}^3$. Концентрация радона в воде составляла 4,4 $\text{кБк}/\text{м}^3$. Для снижения радиоактивности до первоначального уровня требовалось более полутора часов. При использовании больших общественных накопителей воды радон обычно не приносит вреда, т.к. испаряется до того, как вода попадает в дом.

Выделение радона из строительных материалов происходит, если использовались материалы со сравнительно высоким содержанием радия (урана, тория) или способные к выделению радиоактивных газов, при этом низкая радиоактивность по другим видам излучений не гарантирует безопасности по радону. Однако основной, наиболее вероятный путь накопления радона в помещениях связан с выделением радона непосредственно из грунта, на котором построено здание.

В практике геологических исследований нередки случаи, когда слаборадиоактивные породы содержат в своих пустотах и трещинах радон в количествах, в сотни и тысячи раз больших, чем более радиоактивные горные породы. При сезонных колебаниях температуры и давления воздуха радон выделяется в атмосферу. Возведение зданий и сооружений непосредственно

редственно над такими трещинными зонами приводит к тому, что в эти сооружения из недр Земли непрерывно поступает поток грунтового воздуха содержащего высокие концентрации радона, который, накапливаясь в воздухе помещений, создает серьезную радиологическую опасность для находящихся в них людей. Известны случаи, когда в производственных подвальных помещениях, снабженных вытяжной вентиляцией, концентрация радона за счет подсоса воздуха из почвы, достигала $8,0 - 10,0 \text{ кБк/м}^3$, что превышало нормы в 40 – 50 раз.

К настоящему времени в различных странах накоплена достаточно обширная информация о содержании радона в жилых и служебных помещениях. Эти данные постоянно пополняются и уточняются, поэтому представления о средних и предельных концентрациях радона в зданиях претерпевают изменения. С этой точки зрения интересны результаты обследования домов [3].

Таблица 2 – Содержание радона в зданиях

Страна	Число обследованных зданий	Концентрация радона, Бк/м^3
Канада	13450	17 ± 4
Германия	5970	40 ± 2
Финляндия	2154	64 ± 3
Италия	1000	25 ± 3
Нидерланды	927	30 ± 5
Швейцария	400	-
Подвал		720 ± 120
1-й этаж		228 ± 68
2-й этаж		127 ± 36
Австрия	100	-
Подвал		926 ± 210
1-й этаж		267 ± 73
2-й этаж		171 ± 42
США	30000	72 ± 5
Великобритания	2000	12 ± 3

Таблица 3 – Нормативы ЭРОА радона в воздухе жилых зданий [4]

Страна	Существующие здания	Будущие здания	Примечание
Швеция	100	100	Принято в 1984 г.
Финляндия	400	100	Принято в 1986 г.
США	80	-	Принято в 1986 г.
Канада	400	-	Предложено в 1985 г.
Германия	200	-	Предложено в 1986 г.
Великобритания	200	50	Предложено в 1987 г.
Россия	200	100	Принято в 1990 г.
Украина	100	100	Принято в 1997 г.

Уровень концентрации радона в атмосфере домов существенно зависит от естественной и искусственной вентиляции помещения, тщательности заделки окон, стыков стен и вертикальных коммуникационных каналов, частоты проветривания помещений и т.д. Например, наиболее высокие концентрации радона в жилых зданиях отмечаются в холодный период года, когда традиционно принимают меры к утеплению помещений и уменьшению обмена воздуха с окружающей средой.

Стремление к энергосбережению привело к снижению эффективности вентиляции жилых помещений и увеличению опасности накопления в них вредных загрязнителей. Правильный воздухообмен является существенным требованием по обеспечению здорового микроклимата в помещении. Для соблюдения норм воздухообмена [5] $70 \text{ м}^3/\text{час}$ для кухни с внешним окном и газовой плитой, $50 \text{ м}^3/\text{час}$ для ванной комнаты и $30 \text{ м}^3/\text{час}$ для туалета необходимо обеспечить соответствующие уровни инфильтрации и вентиляции (которые являются двумя независимыми параметрами). Значение коэффициента инфильтрации «а» окон должно быть в пределах от 0,5 до 1,0 $\text{м}^3/(\text{м}\cdot\text{час}\cdot\text{даПа})$ [6]. В то же время окна, выполненные из поливинилхлорида с двойным уплотнением $\alpha = 0,2-0,3 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{час}\cdot\text{даПа})$, а для тройного уплотнения $\alpha = 0,0 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{час}\cdot\text{даПа})$. В этом случае не только радон, но и также традиционные загрязнители как: двуокись углерода, пары воды, которые образуются при сжигании природного газа и дыхания людей, запахи от мебели, стройматериалов практически не выводятся из жилища. При наличии в сжигаемом газе радона последний после сжигания концентрируется и, обладая большей плотностью по сравнению с другими продуктами сжигания, может накапливаться в помещении. Из приведенных выше данных (таблица 2) следует, что особенно важно обеспечить надежную вентиляцию подвалов и первых этажей зданий.

При возникновении подозрений по превышению концентрации радона в местах разломов, усадок (особенно на первых этажах зданий) необходимо провести индивидуальное обследование каждого дома и, в случае необходимости, выбрать способ защиты от радона (обеспечение достаточного воздухообмена, бетонирование подвалов, покрытие герметизирующим составом поверхностей строительных конструкций и т. д.).

Поскольку невозможно ни увидеть радон, ни почувствовать запах радона, для его обнаружения необходимо специальное оборудование. Существует разнообразное оборудование (как профессиональное, так и бытовое), предназначенное для постоянного либо периодического контроля содержания радона в помещениях и предусматривающее получение данных в процессе обследования. Это «AIR-CHEK» США, «RADHOME» Франция и другие. В России аналогичные бытовые приборы выпускаются под маркой «SIRAD MR-106» в Московском инженерно-физическом институте (государственный университет). Детектор-индикатор радона «SIRAD MR-106» является первым разработанным в России бытовым индикатором радиоактивности воздуха – одного из самых опасных видов радиоактивности в силу своей высокой биологической эффективности (в 20 раз выше других видов излучения), и приводящую к внутреннему облучению. В Украине санитарно-эпидемиологические станции в своей работе используют радиометры РГА-4(5), Альфа-Гвард (производство Германии) для определения содержания радона.

При проведении обследований необходимо внимательно изучить инструкцию изготовителя прибора и строго соблюдать все её требования, так как стоимость защитных мероприятий напрямую зависит от полученных результатов, а значит и от аккуратности проведения обследования.

Если опасность невелика, то и затраты будут небольшие – нередко достаточно тщательно окрасить или оклеить стены помещений.

Результаты обследования позволяют представить реальный риск от наличия радона в доме. Наглядный способ представить риск, связанный с воздействием радона – это сравнение его с риском от других вредных воздействий. Согласно данным Департамента здравоохранения США находиться в помещении с концентрацией радона $7400 \text{ Бк}/\text{м}^3$ в 60 (шестьдесят!)

раз более опасно, чем выкуривать две пачки сигарет в день, а воздействие воздуха с концентрацией 370 Бк/м^3 в течение года сопоставимо с 500-кратным облучением лёгких при рентгенографии.

Рассмотрим основные методы снижения объёмной активности радона в зданиях при выборе методов снижения радоновой опасности. Очевидно необходимо руководствоваться правилом снижать уровень содержания радона настолько, насколько это возможно. Считается, что уровень в большинстве домов может быть снижен до $100 - 150 \text{ Бк/м}^3$ (в Украине среднегодовая ЕРОА радона-222 в воздухе помещений при сдаче их в эксплуатацию не должна превышать 50 Бк/м^3 . В домах и сооружениях, которые эксплуатируются, среднегодовая ЕРОА радона-222 в не должна превышать 100 Бк/м^3 . В России норма для сдаваемых в эксплуатацию зданий 100 Бк/м^3 , а эксплуатируемых – 200 Бк/м^3). Нужно помнить: срочность действий зависит от концентрации радона. Чем выше уровень содержания радона в доме, тем быстрее необходимо принимать меры по снижению его концентрации или, даже, по отселению жильцов.

Если в результате проведенных исследований концентрация радона составляет:

– 7400 Бк/м^3 или выше, необходимо снизить уровень до приемлемых показателей. Рекомендуется сделать это в течение нескольких недель. При возможности, необходимо рассмотреть вопрос целесообразности временного отселения до тех пор, пока уровень радона в доме не будет снижен.

– $740 - 7400 \text{ Бк/м}^3$ – такой уровень значительно выше допустимого для жилищ, необходимо его снижение до более низкого уровня. Рекомендуется сделать это в течение нескольких месяцев.

– $200 - 740 \text{ Бк/м}^3$ – этот уровень является также недопустимым для жилищ. Нужно предпринять всё необходимое для снижения уровня до 150 Бк/м^3 или ниже. Рекомендуем сделать это в течение нескольких лет или раньше, если результаты ближе к верхней границе интервала.

– 150 Бк/м^3 – уровень допустимый для жилищ или незначительно превышает его.

Необходимо учитывать также конкретные условия жизни, которые могут повлиять на степень риска и вызвать необходимость дополнительных мер. Опасность воздействия радона зависит от количества радона, проникающего в помещение, и времени, которое в нём проводят люди.

В зданиях с концентрацией радона, превышающей ПДК, должны проводиться дополнительные детализационные работы, с целью подтверждения и уточнения измеренных значений концентрации радона, определения ДПР в различных частях здания, источников поступления радона, при этом выделяются радоноопасные здания, связанные со стройматериалами. После выяснения источников поступления радона принимаются меры к их ликвидации. При почвенном радоне выполняется изолирование подвальных помещений от почвы (бетонирование полов, использование геомембран), при эксхалации (испарение или выделение с поверхности) радона из строительных конструкций они покрываются их герметизирующим составом.

Геомембраны представляют собой геосинтетическую водонепроницаемую пленку из полиэтилена высокой плотности (HDPE), имеющую высокую прочность на пробой, соответствуют всем строительным нормам и требованиям по качеству. Геомембраны идеально подходит для использования при строительстве на ранее неиспользуемых территориях или в экологически неблагоприятных районах, где предъявляются особые требования к защите от загрязняющих веществ. Кроме универсальной выпускают геомембраны, предназначенные специально для защиты от углекислого газа, радона, мембраны с низким коэффициентом газопроницаемости и т.п.

Выводы

1. Учитывая наличие большого количества разломов в отдельных местах Украины при выборе территорий под строительство объектов производственного или бытового назначения необходимо учитывать возможные поступления радона через геологические разломы.

2. При использовании артезианских скважин в качестве источника водоснабжения необходимо учитывать опасность поступления радона в жилое помещение.

3. При использовании природного газа в быту необходимо обеспечить контроль поставщика по содержанию радона в поставляемом газе. Даже при небольшой концентрации радона в газе существует угроза загрязнения воздуха радоном в слабопрветриваемых помещениях (ванная, душевая, кухня).

4. Использование мероприятий по теплоизоляции зданий, особенно с применением металлопластиковых окон, значительно снижается интенсивность воздухообмена в помещениях, что сопряжено с увеличением опасности возникновения в них повышенных концентраций радона.

Список литературы

1. Соломатин Ю.П. О концепции радиационной защиты и двойных стандартах / Ю.П. Соломатин // Зеркало недели.– 2000 №16/289, 22 апреля. n-t.ru/tp/br/rznu.htm
2. Соломатин Ю.П. «21-я годовщина Чернобыльской катастрофы по БЮТу: просьба не беспокоиться» // Наука и Техника. –2007.– 27 апреля.
3. Уткин В.И. Радоновая проблема в экологии // Сорос. образоват. журн.–2000.–Т.6, N 3.–С.73-80.
4. Радиация. Дозы, эффекты, риск:пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 79 с.
5. Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 41-01-2003. – М.: Госстрой РФ, 2006. – 56 с.
6. Жуковський С.С. Рекомендації щодо покращення повітрообміну в приміщеннях житлових будинків / С.С. Жуковський, О.В. Кінаш.– Львів; 2006. – 52 с.

Рецензент: к.т.н., проф. Воробйов, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 12.12.11
© Высоцкий С. П., Ленский В.Г.2011