

Опыт проведения радонозащитных мероприятий в эксплуатируемых зданиях

А.В. Световидов¹, В.А. Венков¹, Г.А. Горский²

¹ ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

² Управление Роспотребнадзора по городу Санкт-Петербургу, Санкт-Петербург

В статье рассмотрены результаты выполнения мероприятий по снижению интенсивности поступления радона в здание из подстилающих пород и грунтов путем изоляции источника. Обращается внимание, что при таком варианте радонозащиты основную роль играют выбор материала мембраны и тщательность изоляционных работ. Показано, что при выполнении радонозащитных мероприятий в ограниченной части контура застройки здания достичь необходимой кратности ослабления потока радона в здание практически невозможно. Описаны два метода оценки эффективности радонозащитных мероприятий.

Ключевые слова: ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, источники поступления радона в здания, метод пассивной радонозащиты, оценка эффективности радонозащиты, качество строительных работ.

Изучение содержания радона в атмосферном воздухе и воздухе помещений жилых и общественных зданий до последней четверти прошлого века велось эпизодически. Отправной точкой в масштабных работах по определению содержания изотопов радона в воздухе жилых домов послужили научные исследования, проведенные в Швеции, которые выявили значительное число жилых домов с высоким содержанием радона в воздухе помещений. Во многих случаях основной причиной повышенных содержаний радона в воздухе явилось использование при строительстве этих домов отходов промышленного производства (легкий бетон с заполнителем из кварцевых сланцев) [1].

В процессе обследования домов, при строительстве которых использовались отходы промышленного производства, исследованиями были также охвачены здания из других видов строительных материалов. В результате этих исследований было установлено, что высокое содержание радона в воздухе помещений наблюдается не только в зданиях, построенных с использованием промышленных отходов.

Анализ причин высокого содержания радона в домах из строительных материалов с повышенным содержанием природных радионуклидов показал, что это обусловлено, во-первых, крайне низким воздухообменом зданий (режимом энергоэкономии), во-вторых, интенсивным поступлением радона в помещения из почвы под зданием. В последующем исследованиями геологов и геофизиков было показано, что многие регионы Швеции являются потенциально радоноопасными, что связано с распространностью горных пород с повышенным содержанием природных радионуклидов (ПРН) и повышенной газопроницаемостью пород (разрывные нарушения, повышенная терциноватость и т. д.) [2].

Опираясь на опыт скандинавских ученых, аналогичные исследования стали проводить и в других странах, в том числе и в России.

По данным анализа геолого-геофизических характеристик горных пород на территории страны [3], а также по

результатам систематических инструментальных измерений, которые выполняются практически во всех субъектах Российской Федерации на базе форм государственного статистического наблюдения № ДОЗ-4 в рамках действующей системы ЕСКИД, значительная часть территории ряда субъектов также отнесена к потенциально радоноопасной.

Нашими исследованиями были охвачены такие потенциально радоноопасные регионы Российской Федерации как Республика Алтай, Еврейская автономная область, Читинская область и др. Высокое содержание радона в домах на этих территориях непосредственно связано с подстилающими горными породами с повышенным содержанием ПРН.

Территория Санкт-Петербурга и Ленинградской области по потенциальной радоноопасности не занимает главенствующих позиций, как перечисленные выше регионы РФ. Однако залегание диктионемовых сланцев, пересекающих территорию области с запада на восток, переводит отдельные участки в южной части Санкт-Петербурга и на территории Ленинградской области в категорию потенциально радоноопасных. Содержание урана в диктионемовых сланцах не достигает промышленных концентраций, но тем не менее сланцевые руды продуцируют значительное количество радона, который при высокой газопроницаемости пород достигает дневной поверхности земли и интенсивно выделяется в атмосферу или здания на таких участках [5, 6].

В ходе скрининговых исследований содержания радона в зданиях в пригородах Санкт-Петербурга были выявлены повышенные, а в ряде случаев и высокие концентрации радона в воздухе помещений.

Источниками поступления радона в здания в Северо-Западном регионе страны, в том числе в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, как правило, являются подстилающие горные породы и грунты. Основными причинами интенсивного поступления радона в воздух помещений из подстилающих пород являются высокое содержание в них

^{226}Ra и значительная газопроницаемость пород. Это характерно для районов с выходом на дневную поверхность земли не только диктионемовых сланцев, но также гранитов с повышенным содержанием ПРН и др.

В некоторых случаях источником поступления радона в воздух зданий может быть вода из артезианских скважин. Радон содержится в любых природных водах, причем в грунтовых водах его, как правило, намного больше, чем в поверхностных водотоках и водоемах. Радон попадает из воды в воздух помещений при использовании больших масс воды (душ, ванная, прачечная и т. д.) за счет экскалляции с водной поверхности [8]. Другим источником поступления радона в здания иногда является природный газ, при сжигании которого в плитах и газовых колонках радон выделяется в воздух помещений [9].

Изучение радиационной обстановки в жилых и общественных зданиях Республики Калмыкия показали, что здесь при достаточно низком содержании ПРН в подстилающих горных породах они характеризуются повышенной газопроницаемостью, вследствие чего в воздухе зданий на территории Республики были зафиксированы высокие концентрации радона [4].

Такое сочетание геолого-геофизических условий распространено на значительной части территории Республики Калмыкия. В горных породах на территории большинства районов Республики содержание ^{226}Ra мало отличается от среднемировых значений (15–30 Бк/кг), которые обычно не являются причиной повышенных уровней радона в зданиях. Однако высокая газопроницаемость горных пород в этих районах Республики приводит к повышенному содержанию радона в воздухе зданий (табл. 1).

Таблица 1

Содержание ^{226}Ra в подстилающих горных породах и ЭРОА изотопов радона в воздухе зданий на территории Республики Калмыкия

Административный район	Содержание ^{226}Ra в подстилающих зданиях породах, Бк/кг	Диапазон ЭРОА изотопов радона в жилых домах, Бк/м ³
Приютненский	17–24	10–500
Ики-Бурульский	22–30	10–680
Кетченеровский	12–33	10–400

Примером сходной ситуации в Северо-Западном регионе может служить комплекс зданий и сооружений МАПП «Брусничное» на границе России и Финляндии. Планирование территории под строительство здесь сопровождалось взрывными работами, что привело к увеличению степени трещиноватости, и, как следствие, газопроницаемости горных пород на участке застройки. Вследствие этого после окончания строительства в большинстве зданий и сооружений содержание радона оказалось повышенным. Для снижения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений потребовались детальные исследования по уточнению радиационной обстановки в них с последующей разработкой и осуществлением радонозащитных мероприятий.

Определенный, а иногда и существенный вклад в приток радона в помещения вносят строительные материалы. Обычно чем выше содержание ^{226}Ra в строительных

материалах, тем при прочих равных условиях значительнее приток радона в воздух помещений. К наиболее критичным с точки зрения притока радона строительным материалам относятся щебень пород гранитного ряда, другие материалы с повышенным содержанием радия – сланцы, отходы переработки фосфатной руды, золы и шлаки от сжигания угля и сланцев и т.д. [7].

Однако в большинстве случаев причиной повышенного поступления радона в воздух помещений является интенсивное выделение его из почв и пород под зданиями. Из почвы под зданием радон поступает в помещения нижних этажей через трещины и неплотности в полах, бетонном основании и стенах, в местах ввода коммуникаций. Основное влияние на содержание радона в воздухе помещений оказывают следующие факторы:

- радиологические характеристики подстилающего грунта и строительных материалов (прежде всего, удельная активность радия в них, значение коэффициента эманирования радона из грунтов и их газопроницаемость и др.);
- характеристики систем вентиляции здания и режим его проветривания;
- конструктивные особенности здания (этажность, тип фундамента, наличие аэродинамической связи между этажами, расположение систем коммуникаций в контуре здания и т.п.);
- тип остекления окон (степень их герметичности, наличие вентиляционных клапанов и др.);
- тип отопления здания (печное или центральное);
- уровень пола в помещениях относительно поверхности земли.

С 1996 г. в Санкт-Петербурге реализуется региональная целевая программа «Радон – Санкт-Петербург», направленная на снижение доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. В результате работ по этой программе были выявлены радоноопасные территории в пригородах Петербурга: городах Павловск, Пушкин, Красное Село и др.

В ходе выполнения программы в 1997–1999 гг. в пригородах Санкт-Петербурга было проведено выборочное радиационное обследование жилых и общественных зданий.

По итогам выполнения программы «Радон – Санкт-Петербург» была разработана адресная программа на выполнение радонозащитных мероприятий, в которую в первую очередь были включены детские дошкольные и школьные учреждения.

Наряду с другими объектами, в адресную программу было включено и здание в г. Пушкин по улице Широкой, д. 16. Здание имеет два жилых этажа и цокольный этаж, часть помещений которого (около 220 м²) занимает подростково-молодежный клуб (ПМК) «Юность». На остальной площади цокольного этажа располагаются опорный пункт охраны правопорядка и Совет местного самоуправления.

Здание построено в 1907 г., последний капитальный ремонт в нем проводился в 1979 г., косметический – в 2007 г. Здание кирпичное, на ленточном фундаменте, с естественной системой вентиляции. Отопление и водоснабжение помещений здания – центральное.

По результатам радиационного обследования помещений ПМК «Юность» было установлено, что эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) изотопов радона в воздухе помещений клуба достигает значений 600 Бк/м³,

а максимальное значение объемной активности (ОА) радона в воздухе помещений превышает 1500 Бк/м³.

В 2001 г. в отдельных помещениях подростково-молодежного клуба «Юность» с наиболее высокими значениями ЭРОА радона в воздухе были частично проведены радонозащитные мероприятия. Эти мероприятия включали в себя создание системы свободно проводящих газ конструктивных элементов в основании здания (в подпольном пространстве), предназначенной для сбора и отвода в атмосферу выделяющегося из грунта под зданием радона, минуя помещения здания (коллектор радона) и укладку на поверхность полов в помещениях клуба слоя рулонного газоизолирующего покрытия (мембраны). Однако ввиду частичного характера инженерно-строительных работ по нормализации радиационной обстановки по фактору «радон» в целом по помещениям клуба заметного положительного эффекта достичь не удалось.

По результатам повторных измерений в 2006–2008 гг. было установлено, что ЭРОА радона в воздухе ряда помещений достигает значения более 500 Бк/м³, в связи с чем было принято решение о продолжении работ по нормализации радиационной обстановки в помещениях клуба.

В период с июня по сентябрь 2008 г. были продолжены инженерно-технические мероприятия, направленные на снижение содержания радона в воздухе помещений ПМК «Юность». При этом с целью обеспечения требований нормативных документов [10] было показано, что необходимая кратность снижения ЭРОА радона в помещениях клуба должна составлять не менее 3.

На основе анализа вариантов радонозащитных мероприятий, а также учитывая накопленный опыт работ по защите зданий и сооружений от притока радона (здания и сооружения МАПП «Брусничное», школа-интернат № 289 в поселке Можайский, здание гостиницы на территории ООО «Чипита – Санкт-Петербург» в Красном Селе), было принято решение использовать метод пассивной системы радонозащиты здания. Суть этого варианта радонозащиты заключается в создании газонепроницаемой мембраны, опирающейся на несущий элемент. В случае ПМК «Юность» несущим элементом являются подготовленные соответствующим образом полы во всех помещениях клуба с использованием варианта «уплотнения» – герметизация щелей, швов, стыков и коммуникационных проемов с применением пластичных материалов на основе материалов с низким коэффициентом диффузии радона.

Пассивная система защиты зданий от радона основана на повышении сопротивления узлов и элементов ограждающих конструкций здания диффузионному и конвективному переносу радона от источника в помещения. Преимущество пассивных систем радонозащиты, прежде всего, заключается в том, что они в процессе эксплуатации не требуют обслуживания и энергообеспечения – в этом варианте эксплуатационные расходы отсутствуют.

Однако при использовании пассивных систем радонозащиты зданий и сооружений особое внимание следует уделять, в первую очередь, качеству возведения мембраны (уплотнения). Обеспечением положительных результатов проведения радонозащитных мероприятий будет являться тщательная герметизация подготовленных полов резинобитумными наплавляемыми радонозащитными материалами по всей площади первого, цокольного или

подвального этажа здания. Такие работы должны проводиться исключительно квалифицированно.

Для радонозащиты помещений ПМК «Юность» в качестве материала газоизолирующей мембраны нами было выбрано рулонное покрытие производства ООО ПО «КИРИШИНЕФТЕОРГСИНТЕЗ» – изопласт ХФПП 40 по ТУ 5774-005-05766480-2002 с Изменением № 1. Для этого материала экспериментальными исследованиями были определены его радонозащитные характеристики – коэффициент диффузии радона в материале. Результаты экспериментальных испытаний показали, что значение коэффициента диффузии для этого материала в 20–25 раз ниже, чем для тяжелых бетонов. Длина диффузии радона в материале составляет около 0,40 см, что обеспечивает снижение притока радона в помещения более чем в 3 раза при толщине слоя изопласта около 4,0 мм.

Эффективная удельная активность природных радионуклидов в материале не превышает 220 Бк/кг и, в соответствии с [10], данный материал относится к I классу строительного сырья и материалов и может использоваться в строительстве без ограничений по радиационному фактору. По результатам испытаний на изопласт ХФПП 40 было оформлено санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 78.01.13.570. П.008118.09.07 от 20.09.2007 г.

При выборе вспомогательных строительных материалов особое внимание обращалось на то, чтобы они имели соответствующие санитарно-эпидемиологические заключения и сертификаты, не были просрочены сроки их хранения и т.д.

Для обеспечения соответствующей кратности снижения радона в помещениях подростково-молодежного клуба «Юность» были проведены следующие инженерно-строительные мероприятия:

- для обеспечения доступа к поверхности полов, на которые планировалось уложить радонозащитное покрытие, был произведен демонтаж стеновых панелей и покрытий полов во всех помещениях клуба;
- проведена подготовка (выравнивание) поверхности полов в помещениях клуба для последующей укладки газоизолирующего радонозащитного покрытия;
- проведена герметизация стыков и неплотностей вводов коммуникаций на цокольный этаж помещений, занимаемых подростковым клубом «Юность». Эти работы были проведены во всех помещениях с использованием специальной строительной пены и резинобитумной мастики;
- на подготовленные полы, а также на нижние части стен внахлест не менее чем на 15 см уложено рулонное радонозащитное покрытие с герметизацией стыков полов со стенами;
- проведена укладка армированной бетонной стяжки по поверхности рулонного материала с целью предотвращения механических повреждений покрытия;
- проведена дополнительная герметизация всех перемычек, включая места их стыка с перекрытиями, а также восстановлены коробка защиты труб и отопительных батарей во всех помещениях клуба [11].

В соответствии с рекомендациями производителя, укладка радонозащитного покрытия производилась путем наплавления соседних слоев материала с заведением их друг на друга не менее чем на 10 см.

После окончания инженерно-строительных работ были выполнены мгновенные измерения ЭРОА изотопов радона и квазиинтегральные измерения ОА радона в воздухе всех помещений клуба для оценки эффективности выполненных радонозащитных мероприятий.

Оценка эффективности мероприятий нами выполнена двумя способами. В первом случае эффективность мероприятий определялась по данным измерений до и после завершения радонозащитных мероприятий по результатам оценки максимальных среднегодовых значений ЭРОА радона в воздухе помещений [12], во втором – по данным измеренных значений ОА и ЭРОА радона в воздухе помещений, причем в обоих случаях в качестве критерия эффективности радонозащитных мероприятий $K_{эфф}$ (отн. ед.) принималось отношение соответствующих показателей до и после окончания мероприятий в каждом из помещений, а также по всем помещениям ПМК «Юность» в целом.

Среднее значение эффективности мероприятий по всем помещениям клуба рассчитывалось с учетом площади каждого помещения по формуле:

$$\bar{K}_{эфф} = \frac{\sum K_i \cdot S_i}{\sum S_i},$$

где S_i – площадь i -го помещения, а суммирование проводится по всем помещениям клуба.

В таблице 2 приведены результаты оценки эффективности радонозащитных мероприятий по данным квазиинтегральных измерений ОА радона в воздухе без учета сезонных вариаций содержания радона в помещениях. Это вполне оправдано тем, что измерения до радонозащитных мероприятий и после их окончания выполнены, в первых, в течение летнего сезона времени, когда вариации содержания радона в воздухе помещений незначительны, во-вторых одним и тем же методом с использованием радиометра радона РГГ-02Т [13].

Таблица 2

Оценка эффективности радонозащитных мероприятий по результатам квазиинтегральных измерений ОА радона в воздухе помещений

№ п/п	Помещения клуба	ЭРОА радона, Бк/м ³		$K_{эфф}$, отн. ед.
		до радонозащиты	после	
1	Холл № 1	80–135	45	2,4
2	Кабинет группы дошкольного развития	145–275	60	3,5
3	Танцевальный зал № 2	85–95	45	2,0
4	Раздевалка 1 за залом № 2	85–90	25	3,4
5	Раздевалка 2 за залом № 2	50–115	15	5,7
6	Зал № 1	55–65	25	2,4
7	Раздевалка справа от входа в зал № 1	55–65	50	1,2
8	Раздевалка перед кабинетом педагога-организатора	70–75	10	7,5
9	Кабинет педагога-организатора	85–90	50	1,8
10	Кладовая перед тренерской	65–85	15	5,0
11	Тренерская	15–90	10	5,5
12	В среднем по всем помещениям	72–107	32	3,85

Как следует из анализа данных таблицы 2, после окончания радонозащитных мероприятий значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений клуба уменьшились от значений 15–275 Бк/м³ в разных помещениях до значений 10–60 Бк/м³. Численное значение критерия эффективности радонозащитных мероприятий для разных помещений составило 1,2-7,5 при среднем его значении по всем помещениям клуба около 3,85.

Результаты оценки эффективности радонозащитных мероприятий по данным оценки максимальных среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона по [12] оказались несколько выше и составили от 2,3 до 12,3 для разных помещений ПМК «Юность», а среднее значение показателя по всем помещениям клуба составило 4,28.

Таким образом, в результате выполненных радонозащитных мероприятий значения ЭРОА радона во всех помещениях ПМК «Юность» снизились до уровней, существенно ниже нормативных. При этом значения ЭРОА радона в воздухе помещений не превышают 60 Бк/м³. Более консервативная оценка максимального среднегодового значения ЭРОА изотопов радона для разных помещений составила от 20 до 160 Бк/м³. При этом кратность снижения содержания радона по данным двух методов оценки для отдельных помещений составила от 1,2 до 12,3 при среднем его значении по всем помещениям клуба около 4,1.

На наш взгляд, оценка эффективности радонозащитных мероприятий по максимальным среднегодовым значениям ЭРОА радона является более корректной, поскольку в этом случае все данные нормируются в единую систему отсчета. Тем не менее, в любом случае результаты радонозащитных мероприятий в помещениях ПМК «Юность» могут считаться в достаточной мере успешными.

Опыт проведения радонозащитных мероприятий в помещениях ПМК «Юность» позволяет сделать еще один важный вывод. При обосновании характера и объема радонозащитных мероприятий в зданиях недостаточным является правильный выбор в пользу какого-то конкретного варианта, не менее важно качественное выполнение всех запланированных работ во всем здании. Частичная радонозащита может привести к перераспределению потоков радона из подпольного пространства в здание, так что локальное улучшение радиационной обстановки в одних помещениях может привести к заметному ухудшению ее в смежных помещениях.

Литература

1. Swedjemark G.A. Radon in Dwelling. Sweden: Report SSI: 1978-013. Stockholm, 1978.
2. Akerblom G., Mellander H. Geology and Radon. World Scientific, 1997. Singapore · New Jersey · London · Hong Kong.
3. Районирование территории России по степени радоноопасности /Максимовский В.А., Харламов М.Г., Мальцев А.В. и др. // АНПИ, 1996/97. № 3(9).
4. Akerblom G., German O., Stamat I. [et al.]. Radon in DWELLINGS in the Republic of Kalmykia Results from the National Radon Survey 2006-2007: Report SSI number: 2009:04 ISSN: 2000-0456.
5. Дверницкий Б.Г. Радоноопасность диктионемовых сланцев нижнего ордовика Ленинградской области // Тезисы докл. научно-технической конференции. «Практика защиты населения от облучения радоном», 2–5 июля, 1996, С.-Петербург. СПб., 1996.
6. Отчет «Проведение радонозащитных мероприятий в школе № 289 Красносельского района». СПб.: Фонд «ООО «НТЦ «ЭКРАНТ», 2007.

7. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства. «Инженерно-экологические изыскания для строительства»: СП 11-102-97. М.: Госстрой России, 1997.
9. Радиация, дозы, эффекты, риск. М.: Мир, 1988.
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09): утв. и введены в действие от 07 июля 2009 г. взамен СанПиН 2.6.1.758-99. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
11. Отчет «Проведение II этапа радонозащитных мероприятий в подростково – молодежном клубе «Юность». СПб.: Фонд «ООО «НТЦ «ЭКРАНТ», 2008.
12. Методические указания «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий»: (МУ 2.6.1.715-98), М.: утв. Минздрав России от 24.08.1998.

A.V. Svetovidov¹, V.A. Venkov¹, G.A. Gorsky²

Experience in radon mitigation in the operating buildings

¹ Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

² Administration of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being in Saint-Petersburg, Saint-Petersburg

Abstract. The article addresses results of measures of intensity reduction of radon intake to a dwelling from the bedrock and soil by the means of source isolation. It is noted that for mentioned type of radon mitigation a choice of membrane material and accuracy of isolation work are of the main importance. Authors demonstrate that it is practically impossible to get required attenuation factor of radon flow to the dwelling during implementation of radon mitigation in the limited part of building boundary. Two methods for evaluation of effectiveness of radon mitigation are described.

Key words: EERC in the dwelling air, sources of radon intake to dwellings, method of passive radon mitigation, evaluation of effectiveness of radon mitigation, quality of construction work.

Поступила 03.11.2009 г.

A.B. Световидов
Тел: (812) 232-43-29
E-mail: asvetovidov@gmail.com