

ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ПЕРВОМАЙСКОГО РАЙОНА ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье приведены данные экспериментальных исследований содержания радона в 14 населенных пунктах Первомайского района. Измерения проводились как в летний, так и в осенний периоды. Даны рекомендации по уменьшению содержания радона в помещениях. Приведены литературные данные, которые ставят под сомнение вредность малых доз радиоактивного облучения при малой мощности дозы.

Каждый человек в течение своей жизни подвергается воздействию ионизирующего облучения за счет естественных источников; техногенно-измененного радиационного фона; источников, используемых в медицине; эксплуатации объектов ядерной энергетики и промышленности; радиоактивных выпадений, образовавшихся в результате испытаний ядерного оружия.

В ежегодной дозе излучения, получаемой человеком, доля продуктов ядерных испытаний составляет всего 0,7%. От атомной энергетики и прочих техногенных источников человек получает 0,3%. Зато ионизирующее излучение при медицинских обследованиях и лечении, к которым многие относятся довольно легкомысленно, дает 34% этой дозы. И все-таки главная опасность исходит от природных источников: на естественный фон приходится 22% суммарной дозы, а на продукты распада радона – 43% (1).

Земная кора с самого начального момента своего образования содержит естественные радиоактивные элементы, создающие естественный радиационный фон. В заметных количествах присутствуют радиоактивные изотопы калия-40, рубидия-87 и изотопы, берущие свое начало от урана-238, урана-235, тория-232, радия-226. Радон образуется при распаде урана-238, тория-232 и радия-226 и является, как его «родители», альфа – излучателем. В процессе распада они продуцируют целое семейство других альфа – излучателей, которые в целом называют дочерними продуктами распада (ДПР). Причем в отличие от радона ДПР представляют собой не газы, а твердые вещества – нестабильные изотопы свинца, висмута, полония и таллия, которые сами по себе являются мощными источниками альфа-излучения. Все изотопы радона радиоактивны и довольно быстро распадаются: самый устойчивый изотоп ^{222}Rn имеет период полураспада 3,8 суток, второй по устойчивости – ^{220}Rn (торон) – 55,6 суток.

Почему радон, имея только короткоживущие изотопы, не исчезает из атмосферного воз-

духа совсем? Оказывается, он постоянно поступает в атмосферу из земных пород: ^{222}Rn – при делении ядер ^{238}U , ^{220}Rn – при делении ядер ^{232}Th . Пород, содержащих уран и торий, в земной коре довольно много (например, граниты, фосфориты), поэтому убыль компенсируется поступлением, и в атмосфере существует некая равновесная концентрация радона.

Радон поступает в атмосферу помещений различными путями:

- а) проникает из недр Земли;
- б) выделяется из строительных материалов (цемент, щебень, кирпич, керамзит и т. д.);
- в) привносится с водопроводной водой, бытовым газом и другими продуктами жизнеобеспечения.

Среднее содержание урана-238 на материках – около 3-х микрограмм на тонну. При этом результирующая активность горных пород составляет приблизительно 50 000 Бк/тонну, то есть каждую секунду тонна горной породы генерирует 50 000 атомов радона. Однако радон в недрах Земли распространен крайне неравномерно. Это связано с тем, что радон накапливается в тектонических нарушениях, куда он поступает по системам микротрещин горных пород. При этом радоновыделение определяется не только общей радиоактивностью горных пород, но и их коллекторными свойствами (способностью аккумулировать радон) и коэффициентом эманирования (способностью выделять накопленный радон).

В практике геологических исследований нередки случаи, когда слаборадиоактивные породы содержат в своих пустотах и трещинах радон в количествах в сотни и тысяч раз больших, чем более радиоактивные породы. При своеобразном «дыхании» Земли радон выделяется из горных пород в атмосферу, причем в наибольших количествах – из участков Земли, в пределах которых имеются коллекторы радона. Возведение непосредственно над такими трещинными зонами зданий и сооружений приводит к тому, что в эти сооружения из недр Земли непрерывно поступает поток грунтового

воздуха, содержащего высокие концентрации радона, который, накапливаясь в воздухе помещения выше предельно допустимых концентраций (ПДК), создает радиологическую опасность для проживающих людей и рабочего персонала. Известны случаи, когда в производственных подвальных помещениях, снабженных вытяжной вентиляцией, за счет которой происходит подсос радона из почвы, объемная концентрация радона достигла 8000-10000 Бк/м³, что превышало нормы в 40-50 раз.

Радон легко проникает в помещения по проницаемым зонам земной коры. Здание с газопроницаемым полом, построенное на земной поверхности, может увеличивать поток радона, выходящего из земли, до 10 раз за счет перепада давления воздуха в помещениях здания и в атмосфере. Этот перепад оценивается в среднем величиной около 5 Па и обусловлен двумя причинами: ветровой нагрузкой на здание (разрежение, возникающее на границе газовой струи) и перепадом температур между комнатным воздухом и атмосферой (эффект дымовой трубы).

Содержание радона в воздухе помещений зависит от его содержания в почве и подстилающих породах, их эманирующей способности, климатических условий конструкции зданий и системы их вентиляции и кратностью воздухообмена в помещении. Концентрации и потоки радона крайне неравномерны, они изменяются в очень широких пределах для различных регионов и видов зданий. По оценкам Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) индивидуальная суммарная доза облучения варьирует от 0,5 до 100 от модального значения дозы, причем она превышает не только предел дозы для ограниченной части населения от искусственных источников ионизирующих излучений, но и может превышать предел дозы для профессионалов (20 мЗв/год).

Свой вклад в поток радона, поступающий в помещение, создает и его выход из строительных конструкций – радон может генерироваться строительными материалами при достаточно большом содержании в них урана и тория. Особо опасными могут быть некоторые сорта цеолитовых цементов, идущих на бетонные сооружения, глины, керамзита и шлаков. С другой стороны, многие цементы имеют повышенное содержание естественного радиоактивного изотопа калий-40, который в процессе распада генерирует только гамма-излучение и не продуцирует радиоактивные газы. В этом случае на фоне относительно повышенного гамма-излучения не будет наблюдаться повышения уров-

ня концентрации радона. Следовательно, контроль интенсивности гамма-излучения строительных материалов посредством гамма-радиометров не гарантирует чистоту по радону для строящихся из них материалов зданий. Опасность строительных зданий по радону необходимо контролировать радонотравами.

Радон хорошо растворяется в воде, поэтому он содержится во всех природных водах, причем в глубинных водах его, как правило, заметно больше, чем в поверхностных водостоках и водоемах. Например, в подземных водах его концентрация может изменяться от 4-5 Бк/л до 3-4 Бк/л, то есть в миллион раз больше. В то же время в водах озер и рек концентрация радона редко превышает 0,5 Бк/л, а в водах морей и океанов – не более 0,05 Бк/л. Радон попадает из вод в атмосферу зданий при использовании заметных масс воды за счет процессов эскалации – дегазации с выносом радона из воздушных пузырьков, содержащихся в воде, в атмосферу. Наиболее интенсивно этот процесс происходит при разбрызгивании и испарении (кипении воды).

Сходны пути проникновения радона в атмосферу помещений при пользовании бытовым газом. В тех случаях, когда радон содержится в повышенных концентрациях в газе, при сгорании последнего радон может накапливаться и распространяться по всему зданию.

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 концентрациях радона в зданиях и его ПДК претерпевают изменения. Уровни ПДК, принятые Национальными комитетами радиационной защиты различных стран, заметно отличаются, но находятся в пределах от 74 Бк/м³ ($2 \cdot 10^{-10}$ Кюри/литр) до 150 Бк/м³ для новых строящихся зданий.

Уровень концентрации радона и дочерних продуктов распада (ДПР) 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 помещениях отмечаются в холодный период года, когда традиционно выполняется их уплотнение – заделка окон, установка вторых рам. Кроме того, в одном и том же доме при совершенно идентичных условиях в квартирах, заселенных

различными социальными, национальными и другими группами населения, в зависимости от их образа жизни, обычаев, уровня культуры и т. п. могут быть различные уровни концентрации радона.

Однако наилучшие результаты снижения радонового риска в существующих зданиях дает правильно выполненная вентиляция. Анализ равновесной объемной активности радона при воздухообмене показывает, что даже единичная за час кратность воздухообмена снижает концентрацию радона на два порядка.

Как указывалось ранее, при прочих равных условиях (конструкция, этажность домов, строительный материал и т. п.) концентрация радона в помещениях прямо связана с его концентрацией в грунтах под домами. Последняя определяется содержанием в них радия, а также физическими параметрами грунта: плотностью, пористостью, коэффициентом эманирования. Все эти параметры объединяются выражением:

$$C_{\text{радон}} = 3,4 \cdot 10^7 \cdot (U \cdot K_{\text{ЭМ}} / \eta),$$

где: U – содержание равновесного с радием урана;

$K_{\text{ЭМ}}$ – коэффициент эманирования горной породы;

η – пористость.

В процессах тектонической деятельности, выветривания и других происходят изменения горных пород: повышается их пористость, образуются системы разнонаправленных трещин, полостей. Тектонические зоны приобретают хорошие коллекторные свойства, в них происходит накопление радона, повышается коэффициент эманирования.

Как результат – большая часть тектонических нарушений превращается в радононосные подводящие структуры. В случаях, когда над такими структурами располагаются постройки, вероятность накопления в них очень высоких концентраций радона резко повышается.

Таким образом, непосредственно связанные с земными недрами источники поступления радона в помещение можно разделить на две группы:

1. Источниками являются сами горные породы, и радон поступает в дома за счет местного геохимического фона радона в породах. Площади развития пород с повышенным (в 3-5 и более раз) фоном радона однозначно связаны с геологическими образованиями (например, площади развития углеродисто-кремнистых или глинистых сланцев, гранитов, сиенитов и т. п.). Этот повышенный местный геохимический фон (например, при концентрации радона

в грунтах более 50-100 Бк/л) может создать значительные по площади радононосные участки, в пределах которых концентрация радона практически повсеместно может превышать ПДК в десятки раз (до 1000 Бк/м³).

2. Источниками являются радононосные тектонические зоны. Эти источники, связанные с разрывными нарушениями, характеризуются резко аномальными (во много раз превышающими местный геохимический фон) концентрациями радона, четко выраженными линейными размерами (как правило, ширина таких зон составляет десятки, редко первые сотни метров при протяженности во многие сотни и тысячи метров). Концентрация радона в атмосфере домов, располагающихся над такими зонами, может достигать сверхвысоких значений (до десятков тысяч Бк/м³). В любых условиях выявление таких домов является первоочередной задачей, поскольку проживание в них крайне опасно.

В зданиях с концентрацией радона, превышающей ПДК, проводятся дополнительные детализационные работы, имеющие целью подтверждение и уточнение измеренных значений концентрации радона, определение ДПР в различных частях здания, источников пропускания радона, при этом выделяются радоноопасные здания, связанные со стройматериалами. Обычно это здания, при строительстве которых использован специфический строительный материал (отвалы рудников, щебень из карьеров с повышенным содержанием радиоактивных элементов, зола углей и т. п.). После выявления источников поступления радона принимаются меры к их ликвидации. При «почвенном» радоне это изолирование подвальных помещений от почвы (бетонирование полов), при эскалации радона из строительных конструкций – покрытие их герметизирующим составом.

Однако лучшим способом борьбы с радоновой опасностью является отказ от строительства домов на площадях, где наиболее вероятно появление превышающих ПДК значений концентрации радона и ДПР, а также от использования строительного материала, содержащего повышенные концентрации радия или характеризующегося повышенным коэффициентом эманирования. Поэтому радиоэкологические исследования территорий будущих (особенно малоэтажных) застроек должны входить в комплекс изыскательных работ в качестве обязательного компонента. Это особенно важно в настоящее время, когда наблюдается большой объем индивидуального строительства.

Несмотря на то, что выявленные по результатам съемки участки с аномальными концентрациями радона исключаются из площади непосредственной застройки их жилыми и служебными зданиями малой этажности, эти участки возможно использовать под улицы, площади, скверы, а также здания нежилого назначения (склады, стоянки машин и т. п.).

В России по временным нормам Минздрава и Госкомэпиднадзора контрольные уровни для радона установлены следующими: во вновь строящихся домах не более 100 Бк/м³ и в уже заселенных – не более 200 Бк/м³; а в том случае, если проведенные защитные мероприятия не дают снижения концентрации радона ниже 400 Бк/м³, то необходимо решать вопрос о переселении жильцов.

Нами были проведены исследования по определению объемной концентрации радона и выдача заключения о степени радоновой опасности для населения Первомайского района Оренбургской области.

МЕТОДОЛОГИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время существуют две основные группы методов измерения концентрации радона в помещениях:

– «мгновенные» измерения, при которых концентрация радона определяется в момент отбора пробы;

– «интегральные» методы, определяющие среднюю концентрацию за длительный период времени (недели, месяцы).

Первая группа является оценочной из-за невозможности учета внутрисуточных, а тем более сезонных изменений. Вторая дает более достоверные результаты, которые можно использовать для последующего расчета дозовых нагрузок на человека.

Наиболее широко используемым «интегральным» методом является метод измерения с помощью трековых детекторов. Его основным достоинством является возможность одновременного экспонирования большого числа детекторов с последующей централизованной их обработкой.

Учитывая сказанное, для обследования помещений Первомайского района использовался комплекс средств измерений интегральной объемной активности Rn 222 в воздухе трековым методом. Измерения осуществлялись путем экспонирования нитрат-целлюлозных трековых детекторов радона (интегральных трековых радиометров) типа ТДА-01, изготовленных в НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хло-

пина». Партии детекторов были предварительно откалиброваны в радоновой камере на образцовом источнике радона. Автоматическое считывание треков с экспонированных детекторов производилось на искровом счетчике АИСТ-28. Переход от количества треков к объемной активности радона осуществлялся по полученным в результате калибровки коэффициентам перехода с учетом времени экспонирования.

На территории Первомайского района Оренбургской области было обследовано 14 населенных пунктов, в жилых и общественных зданиях которых были экспонированы 87 детекторов. В том числе:

- С. Мирошкино – 6
- П. Новая Стройка – 4
- П. Сергиевка – 16
- П. Соболево – 8
- П. Ленинский – 7
- П. Фурманово – 9
- П. Революционный – 9
- П. Первомайский – 2
- С. Ляшево – 1
- С. Красное – 9
- П. Курмин – 3
- С. Маштаково – 2
- П. Малый Зайкин – 3
- Тов. «Рубежское» – 8

Время экспонирования составляло 30-45 дней.

В таблице 1 и 2 даны обобщенные результаты определения объемной активности радона (ОАР) по различным населенным пунктам Первомайского района.

Для расчета эквивалентной объемной активности радона (ЭОАР) в соответствии с рекомендациями ВКПР-91 N 5789-91 и ВКПР-90N43 – 10/796 следует пользоваться коэффициентом равновесия 0,5. То есть ЭОАР = 0,5 ОАР.

Результаты измерений свидетельствуют, что в обследованных помещениях не обнаружено превышения существующего нормативного значения ЭОАР, составляющего 200 Бк/м³ для эксплуатируемых зданий.

Несмотря на малую статистику наблюдений, прослеживается явное (в 1,5-7 раз) превышение концентраций, полученных в конце осени, над аналогичными летними показателями. Причиной этого является резко различающийся режим вентиляции помещений в холодный и теплый периоды года: летом – открытые окна, двери, сквозняки; зимой максимальное проветривание помещений.

Таблица 1. Объемная активность радона в населенных пунктах

Населенный пункт	Число измерений	Средняя ОАР Бк/м ³	Макс. ОАР Бк/м ³
С. Соболево	8	48	65
С. Мирошкино	7	32	59
П. Фурманово	9	20	34
П. Первомайское	13	33	73
С. Озерное	6	21	68
С. Сергиевка	9	28	81
С. Красное	3	46	62
С. Теплое	3	13	16
С. Каменное	3	25	39
С. Володарский	1	93	94

Таблица 2. Результаты измерений объемной активности радона в населенных пунктах Первомайского района. Октябрь – ноябрь.

Населенный пункт	Число измерений	Средняя ОАР Бк/м ³	Макс. ОАР Бк/м ³
С. Соболево	6	3250	5957
С. Мирошкино	18	28120	8135
П. Фурманово	9	20147	3427
П. Первомайское	2	3334	7370
С. Сергиевка	8	48123	6527
С. Красное	9	4664	6212

Выводы:

1. В летний период ни в одном из обследованных помещений не обнаружены превышения существующих нормативных значений ЭОАР, составляющей 200 Бк/м³ для эксплуатируемых зданий.

2. В осенний период из обследованных 87 объектов в 13 ОАР превышает 200 Бк/м³, ЭОАР для названных объектов, равный 0,5 от ОАР, лежит в интервале 100–175 Бк/м³, то есть также не превышает нормативной величины, но при этом превосходит средние для России показатели.

3. Выявленные в осеннее-зимний период высокие значения ОАР, особенно в поселках Соболево и Фурманово, характерны для «радоноопасных» областей, поэтому при проведении более широкомасштабных обследований можно ожидать достаточно большого процента помещений с еще большими уровнями радона.

4. Осеннее-зимние концентрации радона в воздухе помещений значительно (до 7 раз) превышают летние значения.

В профилактических целях следует рекомендовать обязательное периодическое проветривание дошкольных и школьных учреждений.

В проблеме радона остается еще много нерешенных вопросов. С одной стороны, они имеют чисто научный интерес, а с другой стороны, без их решения очень сложно проводить

какие-либо практические работы, например в рамках Федеральной программы «Радон». Кратко эти проблемы можно сформулировать в следующем виде:

1. Модели радиационных источников при облучении радоном получены на основе данных по облучению шахтеров. Насколько справедлив перенос этой модели риска на облучение в жилищах, до сих пор не ясно.

2. Достаточно неоднозначна проблема определения эффективных доз облучения при воздействии ДПР радона и торона. Для корректного перехода от экспозиции по ЭРОА радона или торона к эффективной дозе необходимо принимать во внимание такие факторы, как доля свободных атомов и распределение активности по размерам аэрозолей.

3. До сих пор не существует надежной формализованной математической модели, описывающей процессы накопления радона, торона и их ДПР в атмосфере помещений с учетом всех путей поступления, параметров строительных материалов, покрытий и т. д.

4. Существуют проблемы, связанные с уточнением региональных особенностей формирования доз облучения от радона и его ДПР, поскольку, как правило, геологическая обстановка большинства городов изучена плохо.

К настоящему времени имеются убедительные научные данные о возможных негативных последствиях при облучении людей большими и средними дозами ионизирующего излучения. В отношении опасных малых доз излучения в научных кругах нет однозначной точки зрения. Многие годы в некоторых научных и особенно научно-популярных изданиях высказывается мнение, что ионизирующее излучение может причинять вред здоровью при сколь угодно малой дозе. Такая точка зрения предполагает, что и природный фон радиации с определенной долей вероятности может оказывать вредное воздействие на живые организмы, хотя они постоянно подвергаются его воздействию без каких-либо видимых отрицательных последствий. Вместе с тем к настоящему времени опубликовано много работ о том, что малые дозы оказывают положительный эффект и, более того, необходимы для нормальной жизнедеятельности всего живого. В работе (2) приводятся данные, что смертность от рака легких уменьшается с увеличением концентрации радона в воздухе. При концентрации радона 20 Бк/м³ смертность 7 человек на 10 000 населения, при концентрации 200 Бк/м³ – 5 человек на 10 000 населения. Аналогичные данные получены в

Австралии, Китае, Японии, Великобритании; на основании этого Kondo (3) делает вывод о том, что радон, содержащийся в окружающем воздухе, снижает смертность от рака легких. Интересно отметить, что дозы облучения от радона у жителей домов за длительный период проживания часто сопоставимы с дозами облучения у шахтеров урановых рудников, которые они получают за короткое время и которые ведут к развитию рака легких (роль высокой мощности облучения). При малых мощностях дозы облучения с равномерным ее распределением на протяжении всей жизни частота возникновения рака легких у населения не возрастает, а наоборот снижается (4, 5). В России, Австрии и Японии широко применяется терапия низкими дозами радона. Результаты клинических исследований подтверждают эффективность такого лечения (6). Малые дозы фонового облучения постоянно стимулируют защитные силы организма. Если естественное фоновое облучение организма снижается, то это ведет к увеличению спонтанной заболеваемости раком, а также к увеличению роста и развитию организмов. Малые дозы излучения (в пределах колебаний природного радиационного фона) обладают как лечебным, так и профилактическим действием и необходимы для нормальной жизнедеятельности организма (6, 7, 8, 9). В более ранние геологические эпохи фоновый уровень ионизирующего излучения был значительно выше, и все живое приспособилось использовать его в своих интересах (7, 10). Постепенно фон снизился, и в настоящее время все живое на планете находится в частичном дефиците облучения. Luckey (7) делает вывод, что доза в 5 сГр (Грей (Гр) – величина поглощенной дозы, равная одному Джоулю на килограмм (Дж/кг)) является оптимальной для здоровья человека. Для повышения жизнеспособности и здоровья популяции необходимо искусственное дооблучение в дозе 5 сГр/год (7). Наиболее приемлемым является использование радоновых про-

цедур, которые уже зарекомендовали себя как один из методов лечения. Они могут проводиться не только на радоновых курортах, но и во внекурортных условиях с использованием имеющейся в нашей стране сети радоновых лабораторий. Luckey (7) отмечает, что радонотерапия – прекрасный способ устранения недооблучения у людей. От курса радоновых процедур (ванн с дозировкой 1,5-3,0 кБк/л) доза облучения человека за год возрастает на 10-20% от среднего фонового 0,1 сГр/год. Это значительно ниже дозы 5 сГр/год, предлагаемой Luckey, но следует учитывать, что при радонотерапии облучение происходит за короткий промежуток времени и облучается не весь организм, а в основном кожа. При этом мощность дозы излучения по отношению к фоновой возрастает в сотни раз, что повышает эффект действия облучения, и этого вполне достаточно, о чем свидетельствуют клинические данные по эффективности лечебного использования радоновых процедур. По расчетам Luckey (8) устранение дефицита облучения у населения США может предотвратить более 200 000 преждевременных смертей от рака. По мнению Кеирим-Маркуса (11), усилия, направленные на ограничение облучения России от природных источников, могут привести к возрастанию заболеваемости раком среди населения.

Приведенные выше данные позволяют задуматься о справедливости априорно принятой концепции беспорогового действия излучения в области малых доз. Практика резкого ограничения облучения населения в области малых доз может оказаться вредной для здоровья популяции, не говоря уже о значительных экономических затратах, связанных с ее претворением в жизнь. Основанная на этой концепции политика постоянного ужесточения дозовых пределов уже превосходит разумные пределы и должна быть пересмотрена. Беспороговая концепция не согласуется с результатами экспериментальных и эпидемиологических исследований.

Список использованной литературы:

1. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 2000. – 158 с.
2. Cohen B.L. Health Phys., 1995, vol. 68, p. 157-174.
3. Kondo S. Osaka, Yapan, Kiuku Universiti Press, 1993.
4. Brenner. D / Health Phys. 1994, vol. 34, N6, p.739-741.
5. Roth T. Feinendegen L.E. Jahrbuch dez Atomwuwistsckaft. 1995. Bd. 41, N6, p 401-401.
6. Гусаров И.И. Радиотерапия. М., 2000.
7. Luckey T.D. Radiation Hormesis. Boca Ration F.L. CRC 1991.
8. Luckey T.D. Nutriton any Cancer. 1999 vol. 34(1) p. 1-11.
9. Гусаров И.И., Дубовской А.В. // Медицинская радиологическая и радиационная безопасность. 1999, т. 44, №2, с. 18-25.
10. Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значения для биосферы Земли. М., 1991.
11. Кеирим-Маркус И.Б. // Медицинская радиология и радиационная безопасность 1997, т. 1.