

1.3 РЕГУЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ОТ РАДОНА

1.3.1. Структура облучения населения ИИИ

Оценка структуры облучения населения базируется на изучении вклада трех источников воздействия ионизирующих излучений: профессионального, медицинского и природного. Современные оценки значимости вклада каждого источника позволяют констатировать, что ведущее место среди них занимает природное (более 80%), затем медицинское (более 19%) и, наконец, профессиональное (менее 1%) облучение [UNSCEAR, 2010; Барковский и др., 2021].

Таким образом, основной вклад в облучение населения вносят ПИИИ, среднегодовые дозы облучения населения которыми составляют в среднем по Земному шару 2,4 мЗв, а по России – 3,4 мЗв [UNSCEAR, 2010; Барковский и др., 2021]. С удалением от поверхности земли интенсивность космического излучения возрастает. В результате для людей, проживающих в горной местности, дозовая нагрузка оказывается больше, чем для жителей равнин. На высоте полетов современных самолетов мощность дозы гамма-излучения превышает соответствующий показатель на уровне моря в несколько десятков раз.

Внутри помещений доза облучения может быть как больше, так и меньше, чем в той же местности вне помещений, т.к. с одной стороны, элементы конструкций зданий ослабляют внешнее гамма-излучение, а с другой – сами содержат природные радионуклиды, испускающие гамма-излучение. Наибольшие значения мощности дозы отмечены в помещениях из гранита, кирпича, бетона, туфа, а наименьшие – в деревянных зданиях.

В обобщенном виде среднемировые значения годовых эффективных доз облучения населения Земли и Российской Федерации за счет всех ПИИИ приведены соответственно в табл. 1.3.1 и 1.3.2.

Таблица 1.3.1 – Структура средних годовых эффективных доз облучения жителей Земли природными источниками в коммунальных условиях, мкЗв [UNSCEAR, 2000]

Источники	Среднемировая доза	Типичный диапазон
Космическое излучение		
Ионизирующая составляющая	280	270–340
Нейтронная составляющая	100	48–120
Космогенные радионуклиды (^{14}C и др.)	12	
<i>Всего за счет космического излучения</i>	390	300–1000
Внешнее терригенное гамма-излучение		
Облучение в домах	410	255–510
Облучение на открытой местности	70	45–90
<i>Всего за счет терригенного излучения</i>	480	300–1000
Ингаляционное поступление природных радионуклидов		
Радионуклиды рядов ^{238}U и ^{232}Th	6	
^{222}Rn и ДПР	1150	
^{220}Rn и ДПТ	100	
<i>Всего за счет ингаляции ПРН</i>	1260	200–10000
Пероральное поступление с пищей и водой		
^{40}K	170	170
^{210}Pb , ^{210}Po , ^{228}Ra , ^{226}Ra и др.	120	30–630
<i>Всего за счет перорального поступления</i>	290	200–1000
<i>Итого за счет всех компонентов</i>	2400	1000–13000

Таблица 1.3.2 – Структура средних годовых эффективных доз облучения жителей РФ природными источниками в коммунальных условиях, мкЗв [Природные источники ..., 2018; Кононенко и др., 2019]

Источники	Средняя годовая доза	
	по РФ	по субъектам РФ
Космическое излучение		
Ионизирующий компонент	236	220–390
Нейтронный компонент	100	48–120
Космогенные радионуклиды (^{14}C и др.)	12	12
<i>Всего за счет космического излучения</i>	338	310–413
Внешнее терригенное гамма-излучение		
Облучение в домах	554	210–1150
Облучение на открытой местности	96	60–220
<i>Всего за счет терригенного гамма-излучения</i>	650	270–1370
Ингаляция природных радионуклидов		
^{210}Pb , ^{210}Po , ^{232}Th и др.	6	6

Источники	Средняя годовая доза	
	по РФ	по субъектам РФ
^{222}Rn и ДПР + ^{220}Rn и ДПТ	2020	210–7890
<i>Всего за счет ингаляции ПРН</i>	2026	220–7900
Пероральное поступление с пищей и водой		
^{40}K	170	170
^{210}Pb , ^{210}Po , ^{228}Ra , ^{226}Ra и др.	164	30–630
<i>Всего за счет перорального поступления</i>	334	200–800
<i>Итого за счет всех природных источников</i>	<i>3520</i>	<i>1050–10800</i>

Важно отметить, что на долю регулируемых природных источников излучения приходится около 85% дозы природного облучения населения.

Среднемировое значение доз облучения населения за счет изотопов радона в помещениях жилых и общественных зданий составляет около 1,2 мЗв/год [Природные источники ..., 2018; UNSCEAR, 2000], однако для больших контингентов населения в разных странах эта величина может составлять от менее 1 мЗв/год до нескольких десятков мЗв/год. Для значительной части территории нашей страны характерны суровые климатические условия, что накладывает определенные требования к энергосбережению при строительстве зданий и сооружений. Это во многом объясняет тот факт, что и дозы облучения населения за счет изотопов радона заметно выше – в среднем по РФ около 2,0 мЗв/год.

1.3.2. Международные подходы к регулированию радиационной безопасности населения при облучении радоном

1.3.2.1. Эволюция подходов к регулированию радоновой проблемы

Методология регулирования радиационной безопасности населения при воздействии радона основана на изучении биологических эффектов облучения человека радиоактивным газом (см. раздел 1.2.4), а также принципах радиационной защиты от ионизирующего излучения, установленных международной практикой регулирования [Киселев и др.,

2016]. Основные этапы развития подходов к регулированию радиационной защиты населения от радона представлены в табл. 1.3.3.

Таблица 1.3.3 – Основные этапы развития регулирования защиты населения от радона

	Научные исследования	Вклад международных организаций в решение проблемы	Практические шаги в реализации защиты от радона
Начало XX века – 1980	Исследования радона в воздушной среде урановых рудников. Первые эпидемиологические исследования на шахтерах урановых рудников.	МКРЗ 24 (1977) Первые рекомендации по радиационной защите шахтеров от радона. Рекомендован годовой норматив для шахтеров – 12 РУМ.	Совершенствование радонозащитных мероприятий на урановых рудниках.
1980–1990	Исследования содержания радона в воздухе надземных зданий и сооружений. Продолжение эпидемиологических исследований на шахтерах урановых рудников.	ВОЗ Обозначена проблема облучения населения радоном в жилых помещениях. МАИР (1988) Официальное признание радона в качестве канцерогена, приводящего к легочной онкопатологии.	Первые исследования радона в жилых и общественных помещениях.
1990–2000	НКДАР ООН 1993 Анализ механизмов и путей радона поступления в помещения. Первые оценки уровней облучения в жилищах. НКДАР ООН 2000 Научная оценка результатов эпидемиологических исследований (шахтеры урановых рудников).	МКРЗ 65 (1993) Разработка методологии защиты населения от радона в помещениях. Предложены первые нормативы (уровни действия) по радону в помещениях. МАГАТЭ (ОНБ 1996) Установление требований по защите населения от радона.	Национальные радоновые обследования. Разработка радонозащитных мероприятий. Установление национальных нормативов в жилых помещениях и на рабочих местах.

	Научные исследования	Вклад международных организаций в решение проблемы	Практические шаги в реализации защиты от радона
2000–2010	<p>Первые эпидемиологические исследования облучения населения радоном в жилых помещениях.</p> <p>МКРЗ 115 (2010) Анализ риска от радона в жилых помещениях.</p> <p>НКДАР ООН 2006 Научная оценка результатов эпидемиологических исследований, включая облучение населения).</p>	<p>ВОЗ (2005–2009) Радоновый проект. Разработка структуры национальных радоновых программ.</p> <p>МКРЗ 115 (2010) Снижение номинального риска рака легкого от радона в два раза по сравнению с МКРЗ 65.</p>	<p>Разработка и утверждение первых национальных радоновых программ в Европе. Информирование населения о радоне.</p>
2010–2022	<p>НКДАР ООН 2012 Оценка неопределенностей при оценке риска рака легкого от радона.</p> <p>НКДАР ООН 2019 Научная оценка накопленных результатов эпидемиологических исследований.</p>	<p>МКРЗ 126 (2014) Изменение философии регулирования радиационной защиты населения от радона Концепция референтных уровней вместо уровней действия.</p> <p>МАГАТЭ (ОНБ 2014) Закрепление нового подхода к регулированию защиты от радона в нормах безопасности.</p> <p>Евратом (2013) Введение обязательных нормативов для радона в помещениях. Требование разработки и утверждения национальных радоновых программ в ЕС.</p> <p>МКРЗ 137 (2017) Регулирование защиты от радона на рабочих местах. Определение дозовых коэффициентов.</p>	<p>Европейский атлас природной радиоактивности. Анализ и переработка национальных радоновых программ в ЕС с учетом достигнутого опыта.</p> <p>Развитие рынка услуг в области обеспечения радонобезопасности населения.</p>

Исторически начало изучения медицинских эффектов облучения радоном было положено еще в XVI в., когда была обнаружена высокая смертность шахтеров в центральной Европе [Якоби, 1993]. В конце XIX в.

было диагностировано заболевание «рак легкого», и выдвинуто предположение о прямой связи развития легочной онкопатологии у шахтеров с воздействием радиоактивного газа. Результаты первых эпидемиологических исследований, проведенных в 1960-х гг., подтвердили связь облучения шахтеров радоном с развитием рака легкого. Эти данные были положены в основу первых публикаций Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ), посвященных рекомендациям в области обеспечения безопасности персонала урановых рудников. В них устанавливались ограничения ингаляционного поступления радиоактивного газа в организм шахтеров [Публикация 24 МКРЗ; Публикация 32 МКРЗ; Публикация 47 МКРЗ].

По мере накопления сведений о путях миграции радона (поступление в атмосферу из верхних слоев земной поверхности и эксхалация из строительных материалов, содержащих ^{226}Ra) было установлено, что он способен накапливаться в помещениях, создавая в них значительные ОА радона, длительное воздействие которых вызывает негативные последствия для здоровья населения. Впервые на это обратила внимание Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), рассматривая результаты деятельности европейской рабочей группы по качеству воздуха в закрытых помещениях [ВНО, 1986]. Последующие исследования эффектов облучения человека радоном позволили в 1988 г. Международному агентству по исследованию рака (МАИР) отнести радон к соединениям, классифицируемым как канцероген для человека.

Накопление новых данных о существенном вкладе радона в облучение не только шахтеров, но и населения, стало причиной разработки новой системы нормативно-методического регулирования на базе единого подхода к обеспечению радиационной безопасности при облучении радоном как в жилищах, так и на рабочих местах. В ее основу были положены научные оценки результатов эпидемиологических исследований, выполненные при изучении когорт шахтеров урановых рудников,

представленные в докладе НКДАР ООН 1993 г. [UNSCEAR, 1993]. Используя эти научные оценки, МКРЗ в Публикации 65 [Публикация 65 МКРЗ] постулировала методологию защиты населения от облучения радоном. Для целей регулирования устанавливались уровни действия по ОА радона в помещении (600 Бк/м^3 – в жилищах и 1000 Бк/м^3 на рабочих местах), превышение которых диктовало необходимость применения мер по снижению его содержания. Переход от эффективной дозы к ОА определялся на основе концепции условного дозового перехода с учетом эпидемиологических данных, полученных в исследованиях на шахтерах урановых рудников. По сути, уровень действия являлся своеобразной границей между «опасным» и «безопасным» воздействием радона и его ДПР. При этом философия радиационной защиты в целом опиралась на подход, изложенный в Публикации 60 МКРЗ [Публикация 60 МКРЗ, часть 1; Публикация 60 МКРЗ, часть 2]. Подходы к обеспечению радиационной безопасности при облучении ПИИИ регламентировались Международными основными нормами безопасности МАГАТЭ 1996 г. [IAEA Safety Series No. 115]. Эти документы, по сути, впервые обозначили важность проблемы обеспечения защиты населения от радона и определили базовый подход к ее регулированию на многие годы.

Позиционированный международными организациями механизм регулирования радоновой проблемы был поддержан национальными регулирующими органами. В различных странах мира были введены нормативы (уровни действия) на содержание радона в жилых помещениях в терминах среднегодовых значений ОА, приведенные в табл. 1.3.4.

Руководствуясь указанными рекомендациями МКРЗ и стандартами безопасности МАГАТЭ, в мире начинают интенсивно развиваться национальные стратегии по снижению облучения населения радоном. Их основу составляли мероприятия по измерению ОА радона в помещениях, выявлению районов с повышенным его содержанием (радоноопасных районов), картированию территорий, а также превентивные меры при

строительстве новых зданий и мероприятий по нормализации радоновой обстановки в существующих зданиях с повышенным содержанием радона. В итоге во многих странах были оценены среднегодовые уровни ОА радона и выявлены радоноопасные территории [Tollefsen et al., 2014].

Таблица 1.3.4 – Нормативы содержания радона в воздухе жилых помещений в разных странах после выхода Публикации 65 МКРЗ [Zielinski, 2006]

Страна	Уровень ОА, Бк/м ³		
	Существующие здания	Строящиеся здания	Новые здания
Россия	400	200	—
Швеция	200	200	—
Финляндия	400	200	—
Швейцария	1000	400	100
США	148	148	—
Канада	200	200	Принцип ALARA ^{*)}
Англия	200	200	Принцип ALARA
Германия	100	100	< 100

Примечание к табл. 1.3.4: ^{*)} – Принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable) предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне как индивидуальных (ниже пределов, установленных действующими нормами), так и коллективных доз облучения, с учетом социальных и экономических факторов.

Наряду с этим продолжались исследования по оценке эффектов длительного воздействия радиоактивного газа на здоровье человека. В результате была выявлена причинно-следственная связь между вдыханием радона и его ДПР, приводящим к облучению легочной ткани человека, и наблюдаемым увеличением частоты заболевания раком легкого [UNSCEAR, 1993; WHO, 2009; Труды МКРЗ, 2013; Публикация 50 МКРЗ; Глушинский, 2001]. Было установлено, что воздействие радона и его ДПР на органы дыхания в сочетании с табачным дымом приводит к возрастанию онкогенного эффекта [Публикация 50 МКРЗ]. По данным ВОЗ, в зависимости от среднего значения ОА радона в стране, доля радон-индуцированных раков легкого лежит в диапазоне от 3 до 14% от общего числа всех раков легкого [WHO, 2009]. По информации Агентства по охране

окружающей среды США, ежегодно 21000 случаев смерти от рака легкого отнесены к воздействию радона внутри помещений [EPA]. Согласно оценкам смертности, от радон-индуцированного рака легкого в Норвегии ежегодно погибают около 300 человек [Standring, 2010], Финляндии – 300 [Kurtio, 2014], во Франции – от 1234 до 2913 [Code, 2014], в Ирландии – от 150 до 200 [Fenton, 2014]. В целом радон как инициатор развития рака легкого стоит на втором месте после курения [WHO, 2009].

Эти данные были получены в ходе широкомасштабных эпидемиологических исследований по оценке риска возникновения легочной онкопатологии, выполненных по методу «случай – контроль» для населения, проживающего в домах с различными уровнями содержания радона. Мотивирующим стимулом для их развития во многом стало то обстоятельство, что в рекомендациях Публикации 65 МКРЗ оценка рисков от воздействия радона для населения была основана на результатах эпидемиологических исследований когорт шахтеров урановых рудников. Вместе с тем, прямое использование эпидемиологических данных, полученных на шахтерах урановых рудников, при оценке радиационного риска для населения имеет ряд существенных ограничений. Они связаны, в первую очередь, со специфическими условиями труда шахтеров, многофакторностью воздействия (пыль, радионуклиды уранового ряда, химические канцерогены), асимметричностью выборки по ряду показателей (лица мужского пола среднего возраста, высокая доля курящих людей и т.д.). В результате многолетних исследований, проведенных в Европе, Северной Америке и Китае, впервые были получены прямые оценки риска рака легкого при облучении населения радоном в жилищах без необходимости экстраполяции его параметров, полученных в исследованиях среди шахтеров [Darby, 2006; Krewski, 2005; Lubin, 2004].

Эти новые данные, накопленные за 20-летний период после издания Публикации 65 МКРЗ, наряду с изменениями системы радиационной защиты, постулированными в Публикации 103 МКРЗ, стали основой для

разработки современных международных подходов к регулированию радиационной безопасности населения при облучении радоном.

1.3.2.2. Современные подходы международных организаций к регулированию радоновой проблемы

ВОЗ, рассматривая защиту населения от радона как проблему общественного здравоохранения, инициировала в 2005 г. Международный радоновый проект [Zielinski, 2006], в выполнении которого приняли участие эксперты различных организаций из более чем 40 государств-членов ВОЗ. Для определения эффективных стратегий, направленных на снижение радоновой опасности, в рамках проекта была проанализирована информация о характере и объемах проводимых измерений радона; о результатах эпидемиологических исследований и радиационных рисках, связанных с заболеваемостью раком легкого и содержанием радона в воздухе; о мероприятиях по снижению содержания радона в воздухе помещений при строительстве новых (превентивные меры) и эксплуатации существующих (мероприятия по нормализации радоновой обстановки) зданий; а также об осведомленности общественности о последствиях его долгосрочного воздействия.

При изучении характера и объемов проводимых измерений радона была обобщена информация о среднегодовых уровнях содержания радона в воздухе помещений стран Европы (см. табл. 1.3.5). Отмечено, что при средних значениях ОА радона в закрытых помещениях около 64 Бк/м^3 , наблюдается значительный разброс значений этого показателя. Например, в Чешской Республике это значение оценивается на уровне 100 Бк/м^3 . При этом было подчеркнуто, что наличие радона в воздухе закрытых помещений наряду с другими загрязнителями (например, такими как асбест, тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители и т.п.), может оказывать синергическое действие при его поступлении в организм человека.

Таблица 1.3.5 – Среднегодовые уровни ОА радона в воздухе помещений стран Европы [Киселев, 2016]

Страна	Среднегодовые уровни (Бк/м ³)	% жилых помещений с ОА>200 Бк/м ³	% жилых помещений с ОА>400 Бк/м ³
Албания	—	—	—
Австрия	97	8	4
Бельгия	48	1,7	0,3
Хорватия	68	5,4	1,8
Кипр	19	0	0
Чехия	140	10–15	2–3
Дания	53	2,7	0,2
Эстония	60	2–2,5	0,3–0,5
Финляндия	120	8,7	3,6
Франция	63	6,5	2
Германия	50	2,5	<1
Греция	55	2	1,1
Венгрия	—	5,1	0,8
Ирландия	89	6	1,5
Италия	70	3,2	0,9
Латвия	—	—	—
Литва	55	2,5	0,3
Люксембург	115	—	3
Мальта	40	0	0
Нидерланды	23	0,3	0
Норвегия	89	6	3
Польша	49	1,6	0,4
Румыния	45	—	—
Сербия-Черногория	144	18	4
Словакия	108	14	11
Словения	87	5,5	2
Испания	90	4	2
Швеция	108	6–7	3–4
Швейцария	77	10	7
Великобритания	20	0,4	0,1

В рамках международного радонового проекта был проведен объединенный анализ выполненных в Европе, Северной Америке и Китае эпидемиологических исследований, основной итог которого продемонстрировал наличие канцерогенного эффекта воздействия радона

при уровнях его ОА в жилищах, не превышающих 50–100 Бк/м³. При этом большинство радон-индуцированных раков легкого (его доля, как ранее отмечалось, лежит в диапазоне от 3 до 14% от общего числа всех раков легкого) обусловлено скорее пролонгированным воздействием низких и средних концентраций радона, нежели высоких.

Один из важных разделов радонового проекта посвящен подходам по информированию различных аудиторий населения о радоновых рисках. Актуальность этих мероприятий объясняется еще и тем, что меры по снижению содержания радона в воздухе помещений лежат, в первую очередь, в сфере ответственности домовладельцев.

Результаты выполнения радонового проекта были опубликованы в Руководстве ВОЗ по радону в жилищах, в котором предложен комплекс мероприятий по профилактике возникновения заболеваний, связанных с его воздействием, объединенных в единый план действий [WHO, 2009].

Научный комитет по действию атомной радиации ООН в своих докладах 2000 [UNSCEAR, 2000], 2009 [UNSCEAR, 2009] и 2019 гг. [UNSCEAR, 2020] последовательно рассмотрел потенциальные источники облучения радоном работников и населения, проблемы дозиметрии этого радиоактивного газа, а также результаты эпидемиологических обследований шахтеров и населения.

В докладе НКДАР ООН 2009 г. проведена всесторонняя оценка результатов многочисленных исследований [Blot, 1990; Pershagen, 1994; Letourneau, 1994; Auvinen, 1996; Darby, 1998; Kreienbrock, 2001; Tomasek, 2001; Wang, 2002; Barros-Dios, 2002; Kreuzer, 2003; Baysson, 2004; 45–69], на основе которых устанавливалась связь рака легкого с облучением радоном. При анализе этих данных рассматривались такие факторы, как недельная и сезонная вариабельность радона, ошибки в определении экспозиции, курение, воздействие асбеста, места и длительность проживания, зависимость от возраста и пола. Учитывая эти факторы, был сделан вывод, что объединенные европейские [Darby, 2006], североамериканские [Krewski,

2006] и китайские [Lubin, 2004] эпидемиологические исследования четко демонстрируют риски рака легкого от облучения радоном и дают прямую основу для оценки риска в домах от такого облучения. НКДАР ООН констатировал, что «в настоящее время представляется обоснованным принять: величину избыточного относительного риска – 0,16 (95% доверительный интервал (ДИ): 0,05; 0,31) на 100 Бк/м^3 , как подходящую, возможно консервативную, оценку (пожизненного) риска от радона в жилищах». На основании этих результатов в 2009 г. НКДАР ООН сделал заявление на сессии Генеральной Ассамблеи ООН о том, что есть прямое доказательство, подтверждающее обнаруживаемый риск рака легкого для населения от радона в жилищах [UNSCEAR briefing note, 2009].

Эта научная оценка используется в настоящее время МКРЗ и МАГАТЭ в разработанных рекомендациях и стандартах безопасности в области радиационной защиты населения от воздействия радона.

В 2019 г. НКДАР ООН подготовил научный доклад [UNSCEAR, 2020] по корректировке оценок риска рака легкого, вызванного внутренним воздействием радона и торона с учетом накопленных к настоящему времени данных по дозиметрии и эпидемиологии радона. На основе современных дозиметрических моделей был определен диапазон значений дозовых коэффициентов для ДПР радона в жилых и производственных помещениях, различающихся составом аэрозолей воздушной среды, который по оценкам разных исследователей составляет от 7 до $34 \text{ нЗв/Бк} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-3}$.

Проведен подробный анализ 26-ти эпидемиологических исследований, с учетом расширенного периода наблюдений. Результаты анализа позволили получить уточненные оценки избыточного относительного риска (ИОР) развития легочной онкопатологии для населения. Так для жилых помещений ИОР варьируется от $-0,13$ до $0,73$ на 100 Бк/м^3 (при медианном значении $0,13$ на 100 Бк/м^3). Это значение, в целом, согласуется со скорректированной с учетом неопределенностей оценкой $0,16$ на 100 Бк/м^3 , принятой в докладе НКДАР ООН в 2006 г.

Следует отметить, что рассмотренные в последнем докладе НКДАР ООН эпидемиологические исследования не ставили целью оценить воздействие радона в детском или подростковом возрасте. До конца эта проблема по-прежнему остается нерешенной. На 60-й сессии НКДАР ООН в 2013 г. обсуждался вопрос о том, действительно ли дети более чувствительны к облучению, чем взрослые. Наиболее важным в данном контексте является вывод НКДАР ООН о том, что по 10% видов раковых заболеваний (и, в частности, в случае рака легкого) дети менее чувствительны к воздействию радиации, чем взрослые, или, как минимум, имеют примерно одинаковую чувствительность [Алексахин, 2013].

Для работников уранодобывающей промышленности оценки ИОР варьировались от 0,19 до 2,4 на 100 РУМ¹, при этом оценки ИОР существенно не отличаются в докладах НКДАР ООН 2006 и 2019 гг. (медианные значения составляют 0,59 на 100 РУМ и 0,60 на 100 РУМ, соответственно).

При подготовке доклада НКДАР ООН также обсуждался вопрос о правомерности использования эпидемиологического или дозиметрического подхода при установлении дозовых коэффициентов для целей регулирования радиационной безопасности, а также научного обоснования изменения значений дозовых коэффициентов для радона и его ДПР, установленных в докладе НКДАР ООН 2006 г.

¹ Рабочий уровень (РУ) – внесистемная единица измерения, используемая для определения ОА ДПР радона в воздухе. По определению, 1 РУ (WL – working level) – это такое содержание любых короткоживущих дочерних продуктов распада радона в 1 м³ воздуха, которое обеспечивает выделение скрытой энергии альфа-излучения, равной $1,3 \cdot 10^8$ МэВ. Для перевода величины ЭРОА радона из системных единиц Бк/м³ во внесистемные РУ используется следующее соотношение: 1 РУ = 3750 Бк/м³. Рабочий уровень за месяц (РУМ) – внесистемная единица измерения, используемая для определения экспозиции ДПР радона. По определению, 1 РУМ (WLM – working level month) – это экспозиция, получаемая при воздействии 1 РУ ДПР радона в течение 170 часов (длительность рабочего времени в месяц). Для определения мощности экспозиции ДПР радона используется единица РУМ/год (WLM/y – working level month per year).

Комитет принял решение, что современные научные данные не дают оснований для пересмотра количественных показателей дозового коэффициента для ДПР радона, установленного в докладе 2006 г.

В качестве аргументов, обосновывающих это решение, приводится отсутствие существенных изменений в оценках пожизненного избыточного абсолютного риска (в том числе на основании эпидемиологических данных наиболее информативной когорты «Висмут»), а также наличие значительных неопределенностей в оценках дозовых коэффициентов. Дополнительным аргументом в пользу сохранения предыдущих значений дозовых коэффициентов является четко выраженная тенденция к снижению интенсивности потребления табака, что снижает синергический эффект совместного воздействия двух канцерогенных факторов и влияющий на количественные характеристики исследуемого показателя.

Это решение НКДАР ООН создает в перспективе сложности международным регулирующим организациям, которые в рекомендациях (МКРЗ) и стандартах безопасности (МАГАТЭ) ужесточили нормативные показатели по радону в два раза (Публикация 115 МКРЗ), а Евросоюз уже ввел в ранг норматива сниженную в два раза ОА радона в жилых помещениях – 300 Бк/м³.

Результаты радонового проекта ВОЗ и научные оценки НКДАР ООН кардинально изменили представления об уровне радоновой опасности. По сравнению с ранее существовавшими взглядами, снижение содержания радона в воздухе помещений только в случае превышения уровней действия, рекомендованных в Публикации 65 МКРЗ, создает неверное представление о безопасности его воздействия ниже этого уровня.

Адекватный ответ на сложившуюся ситуацию представляет гораздо более сложную проблему и предусматривает решение двух взаимосвязанных ключевых задач. Первая направлена на уменьшение доли лиц, подвергающихся неприемлемо высоким индивидуальным рискам, связанным с радоном, вторая – на уменьшение среднего значения индивидуального

радонового риска для всего населения страны. Планомерное решение обеих задач позволит достичь конечной цели радоновой стратегии – снизить заболеваемость и смертность населения от радон-индуцированных раков легкого. В итоге эти представления привели к пониманию, что основная философия, заложенная в основу действовавших национальных радоновых стратегий, нуждается в существенной переработке. Пересмотренные представления о радоновой опасности стали основой для изменения взглядов МКРЗ в области защиты населения от облучения радоном.

Международная комиссия по радиологической защите в 2009 г. выпустила Заявление по радону [ICRP, 2010; Труды МКРЗ, 2013], в котором рекомендовалось снизить нормируемые значения ОА радона в жилищах. В 2010 г. издана Публикация 115 МКРЗ «Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада» [ICRP, 2010; Труды МКРЗ, 2013]. В данной Публикации значения номинального риска возникновения легочной онкопатологии при облучении радоном в жилищах увеличены в 2 раза по сравнению с аналогичным показателем, представленным в Публикации 65 МКРЗ. В 2014 г. выпущена Публикация 126 МКРЗ «Радиационная защита от облучения радоном» [ICRP, 2014; Труды МКРЗ, 2015; Киселев, 2016], рекомендации которой базируются на положениях новой системы радиационной защиты, постулированной в Публикации 103 МКРЗ, в рамках которой облучение населения радоном относится к ситуации существующего облучения. Принципы регулирования этой ситуации предполагают вместо уровней действия установление референтных уровней ОА радона [ICRP, 2007; Труды МКРЗ, 2009]. Концепция референтного уровня отличается от концепции уровней действия. По мнению МКРЗ, подход, при котором меры по снижению содержания радона в воздухе помещений рекомендовались только в случае превышения уровней его действия (Публикация 65 МКРЗ), создавал неверное представление, что воздействие ниже этого уровня является безопасным. Действительно, результаты анализа объединенных эпидемиологических исследований в жилищах, проведенного

в рамках Радонового проекта ВОЗ [Zielinski, 2006], убедительно продемонстрировали, что:

- риск рака легкого увеличивается линейно с долгосрочной радоновой экспозицией (30 лет);
- нет свидетельств наличия порога;
- риск возрастает статистически значимо даже при умеренных содержаниях радона в жилых помещениях на уровне ОА 50–100 Бк/м³;
- большинство обусловленных радоном раков легкого вызвано скорее низкими и средними ОА радона, чем высокими, потому что, в общем, меньшее количество людей подвергается воздействию высоких ОА радона.

В отличие от уровня действия референтный уровень представляет собой уровень дозы, риска или объемной/удельной активности радионуклидов, допущение превышения которого при планировании считается неприемлемым, а ниже которого должна осуществляться оптимизация защиты. Суть процесса оптимизации защиты состоит в проведении мероприятий, направленных на удержание и последовательное снижение облучения в помещении до такого низкого уровня, который разумно достижим с учетом социально-экономических факторов. Принцип оптимизации в управлении радоновым риском является ключевым элементом современной методологии регулирования радоновой проблемы. Его применение определяет современную стратегию регулирования защиты населения от радона, которая заключается не только в снижении индивидуальных рисков для наиболее облучаемых лиц, но и в последовательном снижении риска для всего населения.

В соответствии с новыми эпидемиологическими данными, МКРЗ рекомендует установить верхнюю границу производного референтного уровня по среднегодовой ОА радона в жилищах на уровне 300 Бк/м³ (в

дозовом эквиваленте – 10 мЗв/год) вместо верхней границы уровня действия 600 Бк/м³, рекомендованного в Публикации 65. Кроме того, Комиссия настоятельно рекомендует национальным регуляторам устанавливать производный референтный уровень в диапазоне от 100 Бк/м³ до 300 Бк/м³. Целесообразность установления значений референтных уровней на возможно низком уровне обусловлена направленностью на достижение стратегической цели, заключающейся в снижении заболеваемости и смертности населения от онкологических заболеваний легкого.

При рассмотрении вопросов регулирования облучения на рабочих местах Комиссия отмечает, что на большинстве рабочих мест облучение радоном является побочным (сопутствующим) и не рассматривается как профессиональное. Однако конечное решение остается за национальными властями, которые могут отнести облучение работников радоном на некоторых рабочих местах (например, термальные курорты, пещеры и другие подземные рабочие места) к категории профессионального облучения.

Особое внимание в Публикации 126 МКРЗ уделяется вопросам стратегии радиационной защиты от радона, реализация которой должна осуществляться на основе национального плана действий. В Публикации рекомендуется предусмотреть в национальном плане действий выполнение целого ряда мероприятий, представленных на рис. 1.3.1.

Новые рекомендации МКРЗ были положены МАГАТЭ в основу разработки современных стандартов радиационной безопасности в области регулирования защиты населения от радона.

Международное агентство по атомной энергии в 2014 г. опубликовало основные нормы безопасности (ОНБ), Часть 3 которых содержит Требование 50 «Облучение населения радоном в помещении» [Нормы безопасности МАГАТЭ 2015]. В соответствии с указанным требованием правительства государств-членов МАГАТЭ должны предоставить информацию о радоне в помещении и связанными с ним рисками для здоровья, оценить выявленную ситуацию существующего облучения и

установить соответствующие референтные уровни, а также, при необходимости, подготовить и внедрить план действий по контролю облучения населения радоном в помещениях.

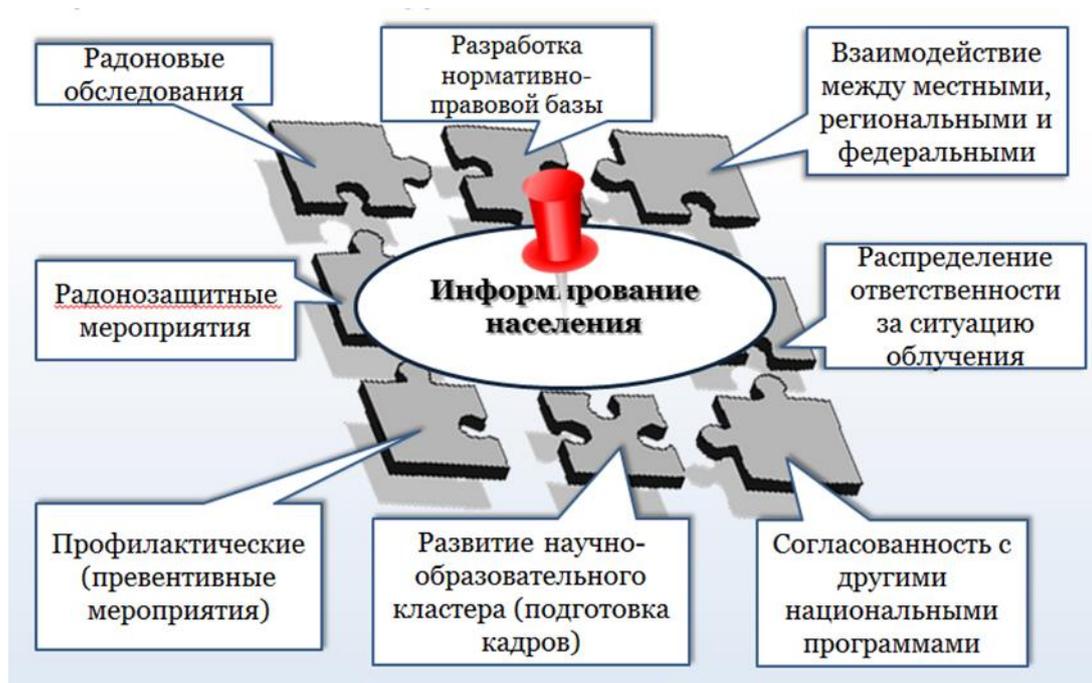


Рисунок 1.3.1– Комплекс мероприятий национального плана действий по радону [Киселев, 2014]

В развитие Требования 50 ОНБ, МАГАТЭ в сотрудничестве с ВОЗ выпустило в 2014 г. Руководство по безопасности «Защита населения от облучения радоном и другими природными источниками излучения в помещении» [IAEA SSG-32]. В указанном Руководстве приведены рекомендации по применению требований ОНБ относительно облучения ПИИИ внутри помещений в ситуациях существующего облучения. Определена методология применения принципов обоснования и оптимизации защиты от воздействия ПИИИ, таких как радон в помещении и природные радионуклиды в строительных материалах. Приведен обзор рисков, возникающих от ^{222}Rn и ^{220}Rn , и подходов к управлению ими.

В руководстве дано определение национального органа, ответственного за организацию и координацию работ по защите населения от облучения ПИИИ в рамках принятого правительством при необходимости

плана действий по реализации национальной радоновой стратегии. Необходимость принятия такого плана обосновывается результатами общенационального обследования по оценке распределения среднегодовых ОА радона в жилых помещениях. Принятый план обычно реализуется национальным органом и включает в себя следующие элементы:

- установление соответствующего референтного уровня ОА радона для жилых и общественных зданий, а также рабочих мест;
- определение радоноопасных территорий;
- оценка эффективности мер по снижению УА ^{222}Rn в питьевой воде и контролю УА ^{226}Ra в строительных материалах;
- стратегии информирования населения о радоне и его воздействии на организм;
- разработка и принятие превентивных мер и мероприятий по нормализации радоновой обстановки для снижения облучения населения, которые должны быть внесены в строительные нормы и правила;
- определение обстоятельств, при которых осуществление мер по ограничению и сокращению воздействия радона должно носить обязательный или добровольный характер;
- оценка эффективности выполнения плана.

При выборе референтного уровня МАГАТЭ рекомендует значение, не превышающее в целом среднегодовую ОА радона 300 Бк/м^3 (п. 5.20 (а) ОНБ) [Нормы безопасности МАГАТЭ 2015]. Выбранный референтный уровень должен быть применен к жилищам и другим зданиям с высоким коэффициентом посещаемости населением.

Учитывая важность для принятия управленческих решений информации о масштабах проблемы, МАГАТЭ выпустило документ «Национальные и региональные исследования содержания радона в жилищах: обзор методологии и методов измерений» [IAEA/AQ/33]. В данном документе рассмотрена методология планирования и осуществления

общенационального репрезентативного обследования жилых помещений для оценки среднегодовых ОА радона. Приведен довольно полный обзор основных методов измерений и используемой техники, а также обширная библиография. Описаны и обсуждены основные элементы плана обследования, такие как схема отбора проб, протоколы и анкеты, а также анализ данных с учетом возможных потенциальных ошибок (смещений), которые могут повлиять на результаты измерений и оценок.

Наряду с разработкой документов по актуальным вопросам радоновой проблемы, МАГАТЭ осуществляет проекты, связанные с изучением состоянием радоновой проблемы в мире.

В целом, для решения проблемы радиационной защиты населения от воздействия радона в жилищах, МАГАТЭ не только разрабатывает требования (стандарты безопасности) и рекомендации, но и осуществляет всестороннюю поддержку государствам-членам по их реализации на национальном уровне.

В качестве примера использования принятых современных подходов международных организаций в области организации радиационной защиты населения от воздействия радона в жилищах представляется целесообразным рассмотреть действия Европейского Союза (ЕС) в данной сфере.

Правовую основу защиты здоровья работников и населения государств-членов ЕС определяет договор Евратома, заключенный в 1957 г. В соответствии с этим договором в ЕС должны быть разработаны единые базовые стандарты по охране здоровья работников и населения от опасностей, возникающих вследствие воздействия ионизирующих излучений. Разработка стандартов осуществляется специальной Комиссией, состоящей из научных экспертов (в том числе в области общественного здравоохранения), назначаемых научным и техническим комитетами ЕС.

Последний пересмотр единых базовых стандартов в ЕС был проведен в 2013 г. Директивой Совета ЕС № 2013/59/Euratom [Council Directive..., 2013]. Его цель состояла в учете современных научных выводов НКДАР

ООН и рекомендаций МКРЗ, охвате всех источников излучения (в том числе природного) и всех ситуаций облучения, а также гармонизации, по мере возможности, количественных критериев радиационной безопасности с международными стандартами.

В части ПИИИ предусматривается совершенствование защиты населения от облучения радоном в жилищах, от облучения радионуклидами природного происхождения, содержащимися в строительных материалах, а также защита работников от радона на рабочих местах, в том числе связанных с переработкой природных радиоактивных материалов.

Директива Совета ЕС № 2013/59/Euratom (статья 103) [Council Directive..., 2013] предлагает создание национального плана действий по управлению долгосрочными рисками при воздействии радона в жилищах, общественных учреждениях и на рабочих местах. Организация защиты предусматривает принятие национального плана действий, включающего ряд обязательных положений, в том числе меры по предотвращению проникновения радона в новые здания (например, установление требований к строительным материалам), по выявлению радоноопасных областей, характеризующихся превышением национального референтного уровня. Директива Совета ЕС № 2013/59/Euratom обязывает установить национальный референтный уровень ОА радона в помещении, не превышающий 300 Бк/м^3 , организовать измерения ОА радона в помещениях и предусмотреть мероприятия по снижению облучения. Обязательным мероприятием национального плана действий является предоставление населению информацию на местном и национальном уровне:

- о рисках для здоровья, связанных с облучением радоном;
- о важности выполнения измерений;
- о технических средствах, применение которых позволяет снизить содержание радона в воздухе помещений.

Директива предусматривает рассмотрение ситуации производственного облучения радоном в дозах более 6 мЗв/год (в случае отсутствия возможности изменить ситуацию путем применения радонозащитных мероприятий) как ситуацию планируемого облучения с введением соответствующих мер защиты в условиях профессионального облучения.

Для реализации указанной директивы 28 государств-членов Европейского Союза должны были к 2018 г. ввести в действие соответствующие национальные законы, регулирующие и административные документы.

1.3.3. Нормативно-правовое обеспечение ограничения облучения населения природными источниками ионизирующих излучений в Российской Федерации

Формирование в Российской Федерации нормативно-правового обеспечения радиационной безопасности населения при облучении ПИИИ осуществлялось с сохранением преемственности существовавшей в СССР нормативно-правовой базы регулирования в данной сфере. Актуальность разработки нормативно-правовых актов во многом определялась оценкой уровней воздействия ПИИИ на население, история исследований которых в нашей стране насчитывает почти 50 лет. Они начинались с масштабных работ по изучению содержания естественных радионуклидов в природном строительном сырье практически всех основных месторождений СССР [Тарасов и др., 1980; Карпов и др., 1979] и завершилась разработкой первых нормативов [Временные методические указания ..., 1986; Временные критерии ..., 1990] и инструктивно-методических документов [МУ 2.6.1.715-98]. Позднее были разработаны первые приборы для контроля ОА радона и ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений [Королева и др., 2006] и начаты, хотя и в небольшом объеме, работы по оценке уровней облучения населения ПИИИ как в производственных, так и коммунальных условиях

[Маренный и др., 1999; Крисюк и др., 1996]. Проведенные исследования свидетельствовали о наличии в Российской Федерации районов, в которых около 70% суммарной дозы облучения населения обусловлены ПИИИ, среди которых наибольший вклад принадлежал изотопам радона [Маренный и др., 2019]. Итогом этой деятельности стало утверждение первого нормативного документа «Ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Временные критерии для принятия решения и организации контроля» [Временные критерии ..., 1990], призванного ограничить облучение населения основными ПИИИ: внешним гамма-излучением природных радионуклидов в среде обитания, природными радионуклидами, содержащимися в строительном сырье и материалах, а также изотопами радона в воздухе помещений. После принятия в нашей стране Временных критериев вышла Публикация 65 МКРЗ, в которой были даны рекомендации по ограничению содержания изотопов радона в воздухе жилых домов и производственных зданий [Публикация 65 МКРЗ]. Издание Публикации 65 МКРЗ, ставшее официальным признанием мировым сообществом ведущей роли радона в облучении населения ПИИИ, в определенной мере способствовало интенсификации масштабов измерительных программ по оценке содержания радона внутри помещений на территории отдельных субъектов РФ.

Однако кардинальным решением в области обеспечения радиационной безопасности населения при воздействии радона стало утверждение «Федеральной целевой программы снижения уровней облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994-1996 гг.» (ФЦП «Радон») [Постановление Правительства, 1994]. Принятие ФЦП «Радон» имело принципиальное значение, поскольку оно выражало отношение федеральной власти к данной проблеме. Поданный на государственном уровне «сигнал» об актуальности радоновой проблемы ориентировал соответствующие федеральные и региональные органы власти на организацию деятельности по

снижению облучения населения этим радиоактивным газом. Результаты работ, достигнутые в ходе ее выполнения, заслуживают отдельного рассмотрения и будут изложены при анализе отечественного опыта в области защиты населения от облучения радоном. К сожалению, большинство из намеченных мероприятий Федеральной целевой программы было выполнено лишь частично, а накопленный опыт в области координации деятельности и межведомственного взаимодействия не получил должного развития, так как вскоре (уже в 1996 г.) из-за отсутствия финансирования программа была закрыта. Тем не менее, результаты деятельности в рамках ФЦП «Радон» стали важной научно-методологической основой для разработки отечественной законодательной и нормативной базы регулирования радиационной безопасности населения. В начале в 1996 г. был принят Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» [Федеральный закон № 3-ФЗ], затем Федеральные законы «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «Градостроительный кодекс Российской Федерации», «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [Федеральный закон № 52-ФЗ; Федеральный закон № 190-ФЗ; Федеральный закон № 384-ФЗ]. Учитывая, что основная часть дозы облучения населения ПИИИ (в первую очередь, за счет радона и гамма-излучения) формируется в помещениях, в этих законах впервые изложены основные требования, направленные на ограничение их действия при строительстве и эксплуатации зданий. Реализация этих требований основана на обязательном выполнении нормативов по ограничению облучения населения ПИИИ при выборе земельных участков, проектировании, строительстве и вводе в эксплуатацию зданий, радиационному контролю стройматериалов, а также санитарно-гигиенических условий проживания в жилых помещениях. При невозможности выполнения нормативов должен быть изменен характер использования отдельных помещений или зданий и сооружений целиком.

Во исполнение положений этих Федеральных законов разработаны две группы нормативных документов, регламентирующих в настоящее время различные аспекты деятельности, направленной на снижение доз облучения радоном в зданиях:

- нормативные акты санитарного законодательства, разрабатываемые в системе Роспотребнадзора и ФМБА России;
- нормативные акты, регламентирующие различные этапы строительной деятельности, предусматривающие выполнение требований, установленных нормами санитарного законодательства.

Нормативными актами санитарного законодательства в области радиационной безопасности являются Санитарные правила и нормативы (СанПиН и СП). В настоящее время введены в действие СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ 99/2010) и СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения». Руководствуясь установленными в этих нормативных актах санитарно-гигиеническими требованиями к показателям радиационной безопасности участков застройки и внутренней среды здания, разрабатываются методические указания и рекомендации по осуществлению контроля за соблюдением установленных нормативов.

Нормативными актами, регламентирующими различные этапы строительной деятельности, которыми предусмотрено выполнение установленных в санитарных нормах требований, являются строительные нормы и правила (СНиП), технические регламенты, межгосударственные стандарты (ГОСТ) и национальные стандарты Российской Федерации (ГОСТ Р), своды правил, руководящие документы в строительстве (РДС); территориальные строительные нормы (ТСН), стандарты организаций (ТСО). В настоящее время введен в действие на федеральном и региональном уровне ряд нормативных актов, среди которых свод правил СП 47.13330.2016

«Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96»; свод правил СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства»; московские городские строительные нормы МГСН 2.02-97 «Допустимые уровни ионизирующего излучения и радона на участках застройки» и пособие к ним «Проектирование противорадоновой защиты жилых и общественных зданий»; свод правил СП 321.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования противорадоновой защиты».

Принятые федеральные законы и нормативные акты являются основой отечественной нормативно-правовой базы регулирования радиационной безопасности населения при воздействии ПИИИ.

Подходы к ограничению природного облучения в нашей стране и за рубежом имеют некоторые принципиальные отличия [Киселев и др., 2018]. В рекомендациях ВОЗ, МКРЗ, МАГАТЭ в строгом понимании термин «норматив» как допустимое значение того или иного радиационного фактора природного происхождения не принимается. Кроме того, только в Российской Федерации гигиенические нормы установлены по отношению ко всем регулируемым природным источникам излучения, хотя, как показано в табл. 1.3.6, основной вклад в суммарные дозы облучения населения за счет всех ПИИИ вносит радон и его короткоживущие ДПР. Поэтому при рассмотрении нормативных актов в области ограничения облучения населения ПИИИ, основное внимание обычно уделяется вопросам нормирования воздействия радона.

Таблица 1.3.6 – Структура дозы облучения населения Российской Федерации за счет всех природных источников излучения (в среднем по стране)
[Барковский и др., 2021]

Индивидуальная доза природного облучения, мЗв/год

К-40	Космическое излучение	Внешнее терригенное	^{222}Rn , ^{220}Rn и их ДПР	Питьевая вода	Пищевые продукты	Атмосферный воздух	Суммарная доза
0,170	0,34	$\frac{0,68}{0,480^{*)}}$	$\frac{2,0}{1,250^*}$	$\frac{0,038}{0,120^{*)}}$	$\frac{0,13}{0,120^{*)}}$	0,006	3,36

Примечание к табл. 1.3.6: ^{*)} – среднемировые значения по [UNSCEAR, 2000].

Как и в рекомендациях международных организаций, в Российской Федерации принята система отдельного нормирования ограничения облучения населения при воздействии радона в производственных и коммунальных условиях. Такой подход в стране был окончательно оформлен в конце прошлого века с введением в действие НРБ-96 [ГН 2.6.1.054-96] и сохранен в последующих редакциях документа.

Требования по ограничению облучения населения в коммунальных условиях за счет радона и других природных источников излучения впервые были приняты в 1991 г. во «Временных критериях для принятия решений и организации контроля» (ВКПР) [Временные критерии ..., 1990]. Российская Федерация является одной из немногих стран, в которых нормирование содержания радона в жилищах осуществляется не по ОА радона, а по среднегодовой ЭРОА изотопов радона. При этом нормирование облучения радоном и торонем основывается на едином нормативе. В настоящее время в нормативных документах, действующих в Российской Федерации, ЭРОА торона входит в качестве слагаемого в нормируемую величину среднегодовой ЭРОА изотопов радона. При этом к величине среднегодовой ЭРОА торона применяется взвешивающий коэффициент 4,6. В значительной степени это дань «традициям» из 1970–1980-х гг., когда торон, наряду с радоном, являлся одним из индикаторов залежей радиоактивных руд.

$$ЭРОА_{норм} = ЭРОА_{Rn} + 4,6 \cdot ЭРОА_{Тn} , \quad (1.3.1)$$

Выбор нормируемой величины в показателях ЭРОА является логичным в связи с тем, что непосредственно на человека воздействуют именно короткоживущие ДПР изотопов радона, оседающие в респираторном тракте и облучающие ткани легкого. Преимуществом использования ЭРОА радона в нормировании воздействия радона является то, что эта величина напрямую связана с дозой облучения, тогда как при переходе от ОА радона к величине эффективной дозы необходимо дополнительно учитывать сдвиг равновесия между радоном и его ДПР.

В ВКПР устанавливались нормативы по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий, которые предусматривали три уровня регулирования этого показателя. Для проектируемых и строящихся зданий жилищного и социально-бытового назначения среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона не должно превышать 100 Бк/м³ (первый уровень), для эксплуатируемых зданий – 200 Бк/м³ (второй уровень). В тех случаях, когда мероприятия не позволяли снизить значение ЭРОА изотопов радона в воздухе ниже 400 Бк/м³ (третий уровень), должен был решаться вопрос о переселении жильцов (с их согласия) и перепрофилировании помещений.

Требования по ограничению облучения населения в производственных условиях были приняты впервые в НРБ-96 [ГН 2.6.1.054-96]. В них ограничения на облучение изотопами радона в производственных условиях вводились в форме дозового предела (принятый предел среднегодовой эффективной дозы в 5 мЗв/год соответствовал при монофакторном воздействии среднегодовому значению ЭРОА радона 310 Бк/м³ или среднегодовому значению ЭРОА торона 68 Бк/м³). Кроме того, предусматривалась также возможность сноса здания при невозможности

снижения среднегодового значения ЭРОА изотопов радона до значения менее 400 Бк/м³.

Принятые 25 лет назад в нашей стране нормативы оказались наиболее близкими к современным рекомендациям международных организаций, что наглядно представлено в табл. 1.3.7. Разрабатываемые в последующем в России нормативные акты по ограничению облучения изотопами радона подтвердили обоснованность нормативов, принятых в 1991 г. в ВКПР [Временные критерии ..., 1990].

В настоящее время действующими нормативными актами в этой сфере регулирования являются НРБ-99/2009, ОСПОРБ 99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10. Важно также отметить, что наряду с допустимыми уровнями ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений в отечественных нормативных актах определены критерии, характеризующие степень радиационной безопасности населения. Согласно п. 5.1.2 ОСПОРБ 99/2010 при суммарных эффективных дозах облучения от всех основных ПИИИ менее 5 мЗв/год степень радиационной безопасности населения считается приемлемой, при дозах свыше 5 до 10 мЗв/год – повышенной, а при дозах более 10 мЗв/год – высокой. Мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год.

Таблица 1.3.7 – Допустимые уровни ОА радона в воздухе помещений в России и в рекомендациях международных организаций

Международные организации			Российская Федерация		
Организация, публикация, год	Нормативы		Нормативный акт, год	Нормативы *	
	Жилые помещения	Рабочие места		Жилые помещения	Рабочие места
МКРЗ 65 (1993 г.)	600	1500	ВКПР (1991 г.)	200 / 400 **	—
ВОЗ (2009 г.)	100	—	НРБ-96 (1996 г.)	200 / 400 **	620 ***
МКРЗ 126 (2014 г.)	300	300	НРБ-99 (1999 г.)	200 / 400 **	620 ***
МАГАТЭ (2014 г.)	300	1000	НРБ-99/2009 (2009 г.)	200 / 400 **	620 ***

ЕВРАТОМ (2014 г.)	300	300	НРБ-99/2009 (2009 г.), ОСПОРБ 99/2010 (2010 г.)	200 / 400 **	300/600 ****
----------------------	-----	-----	--	--------------	--------------

Примечание к табл. 1.3.7: * В России нормирование ведется по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона в воздухе: $\text{ЭРОА}_{\text{Rn}} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{Tn}}$. При пересчете ЭРОА радона в ОА радона в воздухе в табл. 1.3.7 значение коэффициента радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР принято равным 0,5.

** В числителе приведен норматив для проектируемых жилых и общественных зданий, в знаменателе – для эксплуатируемых зданий.

*** Нормируемой величиной является годовая эффективная доза облучения работников природными источниками излучения в производственных условиях. Нормативы по ОА (ЭРОА) для производственных зданий не установлены. ЭРОА радона в воздухе на уровне 310 Бк/м^3 и ЭРОА торона на уровне 68 Бк/м^3 соответствуют эффективной дозе 5 мЗв/год при монофакторном воздействии, продолжительности рабочего времени 2000 ч/год и интенсивности дыхания $1,2 \text{ м}^3/\text{час}$.

**** В числителе приведен норматив для проектируемых производственных зданий и сооружений, в знаменателе – для эксплуатируемых зданий.

Ниже приведены основные регулирующие требования действующих в настоящее время отечественных нормативных актов по защите от воздействия ПИИИ в коммунальных и производственных условиях.

Регулирующие требования по защите населения от воздействия ПИИИ в коммунальных условиях.

Для коммунальных условий требования по ограничению облучения населения за счет радона реализуются при осуществлении строительства новых и эксплуатации существующих зданий.

При выборе участков под строительство зданий жилищного и общественного назначения руководствуются следующими требованиями (п. 5.1.6 ОСПОРБ 99/2010):

- мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на площади должна быть менее $0,3 \text{ мкЗв/ч}$;
- плотность потока радона с поверхности грунта не более $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

При несоблюдении этих требований при проектировании здания должна быть предусмотрена система защиты от повышенных уровней гамма-излучения и радона. Степень радонозащиты определяется результатами оценки категории потенциальной радоноопасности участка при проведении инженерных радонозащитных мероприятий при намечаемом строительстве в

соответствии с принятым в 1997 г. сводом правил по проектированию и строительству «Инженерно-экологические изыскания для строительства» [СП 11-102-97].

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м^3 , а мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ (п. 5.3.2 НРБ-99/2009).

В эксплуатируемых жилых и общественных зданиях среднегодовая ЭРОА изотопов радона не должна превышать 200 Бк/м^3 . При более высоких значениях ЭРОА, а также мощности эффективной дозы гамма-излучения в помещениях, превышающей это значение на открытой местности более чем на $0,2 \text{ мкЗв/ч}$, должны проводиться защитные мероприятия, в т.ч. направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений (п. 5.3.3 НРБ-99/2009). При несоответствии показателей радиационной безопасности жилых и общественных зданий действующим нормативам и невозможности в результате экономически обоснованных защитных мероприятий снизить значения одного или обоих показателей до нормативного рассматривается вопрос о переселении жильцов и перепрофилировании здания или части помещений или о сносе здания (п. 5.1.4 ОСПОРБ 99/2010, п. 4.2.6 и 4.2.7 СанПиН 2.6.1.2800-10).

Упоминание в формулировке данных пунктов мощности эффективной дозы гамма-излучения все еще продолжает вызывать непонимание у многих пользователей НРБ-99/2009. В СанПиН 2.6.1.2800-10 в формулировку аналогичных пунктов (4.2.6 и 4.2.7) внесены правки: речь идет о мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, а численное значение допустимого превышения составляет $0,3 \text{ мкЗв/ч}$. Изменения № 1 к ОСПОРБ 99/2010, утвержденные Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.09.2013 № 43, внесли окончательную ясность в трактовку

этих пунктов: «Во всех изменениях в ОСПОРБ 99/2010 и СПОРО-2002 допустимые и контрольные уровни ионизирующего излучения выражены в терминах мощности амбиентного эквивалента дозы. Эту величину, которую измеряют практически все современные дозиметры, следует считать приемлемой оценкой мощности эффективной дозы для целей обеспечения радиационной безопасности. Это значительно упрощает интерпретацию результатов радиационного контроля, исключая необходимость сложных пересчетов измеренных величин в некоторые другие, пригодные для сравнения с установленными нормативами. Измеренные значения мощности амбиентного эквивалента дозы и амбиентного эквивалента дозы следует теперь сравнивать непосредственно с нормируемыми величинами»

В НРБ-99/2009 (и далее в СанПиН 2.6.1.2800-10 в более строгом виде) введена классификация строительных материалов по величине эффективной удельной активности ПРН (см. табл. 1.3.8). По определению (Приложение 7 к СанПиН 2.6.1.2800-10), эффективная удельная активность ПРН $A_{ЭФФ}$ – это интегральная характеристика внешнего гамма-излучения материальных сред, которая учитывает удельный вклад содержащихся в ней ПРН в мощность дозы гамма-излучения и определяется соотношением:

$$A_{ЭФФ} = \sum_{^{238}U + ^{235}U} k_i \cdot A_i + \sum_{^{232}Th} k_i \cdot A_i + k_{^{40}K} \cdot A_{^{40}K} \quad , \quad (1.3.2)$$

в котором суммирование ведется по всем гамма-излучающим радионуклидам природных рядов ^{238}U и ^{235}U (первое слагаемое), ^{232}Th (второе слагаемое) и ^{40}K (третье слагаемое), а коэффициенты k_i учитывают относительный вклад гамма-излучения каждого из природных радионуклидов во внешнее гамма-излучение материала с данным содержанием ПРН. В условиях радиоактивного равновесия в рядах ^{238}U и ^{232}Th и значение $A_{ЭФФ}$ рассчитывается по формуле:

$$A_{ЭФФ} = A_{Ra} + 1,3 \cdot A_{Th} + 0,09 \cdot A_K \quad , \quad \text{Бк/кг} \quad (1.3.3)$$

где A_{Ra} и A_{Th} (Бк/кг) – УА ^{226}Ra и ^{232}Th , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов соответственно, а A_K (Бк/кг) – УА ^{40}K .

Таблица 1.3.8 – Классификация строительных материалов в РФ по величине $A_{эфф}$ [СанПиН 2.6.1.2523-09; СанПиН 2.6.1.2800-10]

Класс, эффективная удельная активность ПРН $A_{эфф}$, Бк/кг	Разрешенный вид использования
I класс, $A_{эфф} \leq 370$ Бк/кг	материалы, используемые при строительстве (реконструкции, капитальном ремонте) жилых и общественных зданий
II класс, $370 < A_{эфф} \leq 740$ Бк/кг	материалы, используемые при возведении производственных зданий и сооружений, используемые в дорожном строительстве в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки; изделия и материалы, используемые для наружной и внутренней облицовки зданий (керамическая и керамогранитная плитка, облицовочные изделия из природного и искусственного камня и т.п.)
III класс, $740 < A_{эфф} \leq 1500$ Бк/кг	материалы, используемые в дорожном строительстве за пределами населенных пунктов и зон перспективной застройки
IV класс, $1500 < A_{эфф} \leq 4000$ Бк/кг	вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно на основании санитарно-эпидемиологического заключения федерального органа исполнительной власти, уполномоченного осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор [СП 2.6.1.2612-10]; использование сырья и материалов для строительства жилых, общественных и производственных зданий и сооружений, а также в дорожном строительстве не допускается [СП 2.6.1.2612-10]
$A_{эфф} > 4000$ Бк/кг	материалы не должны использоваться в строительстве

Регулирующие требования по защите населения от воздействия ПИИИ в производственных условиях. Для производственных условий

первые требования по ограничению облучения населения за счет радона и других ПИИИ, как ранее отмечалось, были введены в НРБ-96. Накопленный в ходе надзорной деятельности в области защиты от воздействия ПИИИ опыт в итоге лег в основу действующих нормативных документов НРБ-99/2009, ОСПОРБ 99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10.

Требования по ограничению облучения населения природными источниками излучения в производственных условиях (п. 4.1 НРБ-99/2009) устанавливают, что «эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать 5 мЗв в год в производственных условиях (любые профессии и производства)». Это требование по ограничению природного облучения относится к суммарной дозе облучения работников без разделения ее на вклад за счет показателей радиационной безопасности здания и самого производства, ввиду отсутствия в нормативных документах требования к производственным зданиям и сооружениям. Такое положение создавало значительные проблемы при применении на практике требований п. 4.1 НРБ-99/2009. В целом эти проблемы были решены с принятием ОСПОРБ 99/2010, в которых впервые были введены требования к показателям радиационной безопасности для вновь строящихся и эксплуатируемых производственных зданий и сооружений.

При проектировании новых производственных зданий в соответствии с п. 5.2.1 ОСПОРБ 99/2010 должно быть предусмотрено, чтобы после окончания их строительства, капитального ремонта или реконструкции среднегодовая ЭРОА радона не превышала 150 Бк/м^3 , а мощность эквивалентной дозы гамма-излучения не превышала $0,6 \text{ мкЗв/ч}$.

В эксплуатируемых производственных объектах среднегодовые значения ЭРОА изотопов радона в помещениях эксплуатируемых производственных зданий и сооружений не должны превышать 300 Бк/м^3 , а мощность эквивалентной дозы гамма-излучения – $0,6 \text{ мкЗв/ч}$. При несоответствии установленным требованиям имеется единственная

возможность дальнейшего их использования – перепрофилирование здания или части его помещений (п. 5.2.2 ОСПОРБ 99/2010).

При соответствии показателей радиационной безопасности (содержание изотопов радона и мощности дозы гамма-излучения) вновь строящихся и эксплуатируемых производственных зданий установленным требованиям отпала необходимость в проведении тотального радиационного контроля доз облучения работников всех предприятий от ПИИИ.

Для обеспечения выполнения требований п. 5.2.1 ОСПОРБ 99/2010 под строительство производственных зданий и сооружений «...выбирают участки территории, на которых мощность эквивалентной дозы гамма-излучения не превышает 0,6 мкЗв/ч, а плотность потока радона с поверхности грунта в пределах контура застройки составляет менее 250 мБк/(м²·с). При проектировании здания на участке с мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения выше 0,6 мкЗв/ч, плотностью потока радона с поверхности грунта более 250 мБк/(м²·с) в проекте должна быть предусмотрена система защиты здания от повышенных уровней гамма-излучения и радона» (п. 5.2.3 ОСПОРБ 99/2010).

В ОСПОРБ 99/2010 введены новые требования к производственному контролю доз природного облучения работников, поскольку существовавшая норма на практике фактически не применялась. Это связано, в первую очередь, с очень низкими значениями (начиная с 1 мЗв/год) критерия отнесения доз природного облучения работников к повышенным уровням облучения и необходимостью организации практически тотального радиационного контроля природного облучения работников всех производств [Стамат и др., 2010]. В ОСПОРБ 99/2010 решение этой проблемы было достигнуто не только вследствие введения требований к самим производственным зданиям, но и прямым перечислением отраслей промышленности, производственная деятельность в которых связана с потенциальной возможностью дополнительного облучения работников. В соответствии с п. 5.2.6 ОСПОРБ 99/2010 к ним отнесены организации,

которые осуществляют деятельность в подземных условиях (неурановые рудники, шахты, подземные производства), добычу и переработку сырья и подземных вод, использование минерального сырья и материалов (или продукции на их основе) с $A_{эфф}$ более 740 Бк/кг, а также в деятельность, в результате которой образуются производственные отходы с $A_{эфф}$ более 1500 Бк/кг [Королева и др., 2008]. Ранее (п. 5.1.1 ОСПОРБ 99) эти требования распространялись на все без исключения организации, в которых облучение работников от природных источников превышало 1 мЗв/год.

В организациях конкретных отраслей промышленности, перечисленных в п. 5.2.6 ОСПОРБ 99/2010, радиационному контролю подлежат годовые эффективные дозы облучения работников за счет ПИИИ; эффективная удельная активность ПРН в используемом сырье, материалах, изделиях; в готовой продукции, при производстве которой применяются сырье и материалы с $A_{эфф}$ более 740 Бк/кг; производственные отходы. При этом виды, объем, периодичность мероприятий, проводимых в рамках производственного радиационного контроля, должны быть достаточными для подтверждения того, что дозы облучения работников не превышают 5 мЗв/год. В случае превышения этих значений должны приниматься меры по снижению доз облучения работников до уровня ниже 5 мЗв/год или рассматриваться вопрос о прекращении (приостановке) работ. Если экономически обоснованные защитные мероприятия не позволяют обеспечить на отдельных рабочих местах облучение работников в дозе менее 5 мЗв/год, допускается отнесение соответствующих работников по условиям труда к персоналу группы А (п. 5.2.7 ОСПОРБ 99/2010). Целесообразно подчеркнуть, что данная норма может быть применима теперь только к организациям конкретных отраслей промышленности, перечисленным в п. 5.2.6 ОСПОРБ 99/2010.

Без ограничений по радиационному фактору допускается обращение с сырьем, материалами и изделиями с эффективной удельной активностью

ПРН до 740 Бк/кг, а также с производственными отходами с эффективной удельной активностью ПРН до 1500 Бк/кг (п. 5.2.5 ОСПОРБ 99/2010).

Таким образом, принятые федеральные законы и утвержденные «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [СанПиН 2.6.1.2523-09], «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)» [СП 2.6.1.2612-10] и «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения» [СанПиН 2.6.1.2800-10] стали основой регулирования радиационной безопасности при воздействии ПИИИ. Используя положения этих законодательных и нормативных актов, налажена система контроля требований к радиационной безопасности при выделении земельных участков под строительство, проектировании, сдаче в эксплуатацию новых и эксплуатации существующих жилых, общественных и производственных зданий и сооружений. Согласно положениям Федерального закона № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», соблюдение установленных требований контролировалось с помощью санитарно-эпидемиологических заключений, выдаваемых органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора на всех этапах строительства и эксплуатации жилых, общественных и производственных зданий.

1.3.4. Отечественный и зарубежный опыт по защите населения от облучения радоном

1.3.4.1. Отечественный опыт по защите населения от облучения радоном

В истории нашей страны выделяется три периода деятельности, направленной на защиту населения от облучения ПИИИ:

– первый период, 1950–1980-е гг., инициирован атомным проектом и развитием атомной энергетики, чем было обусловлено изучением воздействия вредных производственных факторов при добыче и переработке урановой руды, выявлением профессиональной легочной патологии шахтеров урановых горнодобывающих предприятий и исследованием

причин ее возникновения; результаты радоновых исследований в этот период времени наиболее полно изложены в ряде отечественных публикаций [Гнеушева и др., 1988; Гнеушева и др., 2007; Шишкин, 1974; Шалаев и др., 1986; Шалаев и др., 1988];

– второй период, 1990-е гг., связан с решением задач защиты от воздействия ПИИИ на население, а также работников, деятельность которых профессионально не связана с добычей и переработкой урановых руд; проходил в рамках Федеральной целевой программы снижения уровней облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994–1996 гг. (ФЦП «Радон»). Несмотря на закрытие программы в 1995 г., в ее рамках были сделаны серьезные заделы по созданию аппаратного парка и новых методических документов, что, в свою очередь открыло возможности для проведения во многих регионах страны широкомасштабных работ по оценке степени потенциальной радоноопасности участков под новое строительство и радонобезопасности вводимых в эксплуатацию зданий, по выборочному обследованию населенных пунктов на содержание радона в воздухе помещений, контролю за УА радона в воде различных источников и т.д., на основе геофизических данных была создана первая карта потенциальной радоноопасности территории России [Максимовский и др., 1996];

– третий период, с начала 2000-х гг. до настоящего времени, связан с развитием подходов и осуществлением мероприятий, направленных на обеспечение реализации Федеральных законов № 3-ФЗ от 09 января 1996 г. «О радиационной безопасности населения» и № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». В это время был принят ряд постановлений, определивших развития работ по оценке доз облучения населения ПИИИ, радоноопасности территорий и по созданию информационно-аналитических ресурсов, аккумулирующих получаемые в ходе их выполнения данные. Это постановления Правительства РФ о создании единой государственной системы контроля и учета

индивидуальных доз облучения граждан – ЕСКИД [Постановление Правительства № 718, 1997], о введении обязательной радиационно-гигиенической паспортизации организаций и территорий [Постановление Правительства № 93, 1997] и о социально-гигиеническом мониторинге [Постановление Правительства № 60, 2006].

После закрытия ФЦП «Радон» развитие подходов к решению радоновой проблемы на федеральном уровне осуществлялась в рамках отдельных мероприятий, предусматриваемых с 2000 г. в ФЦП «Ядерная и радиационная безопасность России», «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности (ОЯРБ) на 2008 год и на период до 2015 года», а также «ОЯРБ на 2016-2020 годы и на период до 2030 года». Однако эти мероприятия носили фрагментарный характер, что в определенной мере привело к утрате программно-целевой составляющей в реализации стратегии по обеспечению радиационной безопасности населения при облучении радоном, которая динамично развивалась Дирекцией ФЦП «Радон», объединявшей вокруг радоновой проблемы ведущих специалистов многих научных и научно-практических организаций.

Одним из основных направлений этой деятельности являются работы по оценке масштаба радоновой проблемы и выявлению групп населения с повышенными и высокими уровнями облучения вследствие воздействия природных источников. Учитывая размеры страны и социально-экономические условия, их проведение на основе репрезентативного обследования жилых помещений на всей территории России, как это принято в мире, является практически невыполнимой задачей. Эта проблема была решена на основе ежегодного систематического сбора данных об уровнях облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона по всем субъектам Российской Федерации. В соответствии с программой ЕСКИД в 2001 г. был создан Федеральный банк данных доз облучения граждан Российской Федерации за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона (ФБДОПИ),

функционирующий до настоящего времени на базе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева (более подробно см. главу 3.1). На базе этого банка действует, в частности, уникальная государственная система сбора данных по дозам облучения населения за счет всех ПИИИ на основе формы федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Уникальность этой системы состоит, прежде всего, в том, что она охватывает население всех субъектов РФ, в ней аккумулируются результаты измерений, которые выполняются любыми аккредитованными лабораториями, в том числе в рамках обязательной радиационно-гигиенической паспортизации организаций и территорий, а также социально-гигиенического мониторинга. Однородность всей информации обеспечивается представлением сведений по единой отчетной форме № 4-ДОЗ и внедрением на федеральном, региональном и лабораторном уровнях единого программного и инструктивно-методического обеспечения.

Постепенное накопление информации в ФБДОПИ позволило оценить масштабы радоновой проблемы как для страны в целом, так и отдельно для каждого субъекта Российской Федерации.

Уровни природного облучения и, соответственно, структура доз облучения населения на территории России значительно варьируются. Более высокие значения дозы в помещениях определяются, как правило, региональными геофизическими характеристиками их территории (наличие разломов, содержание в грунтах ^{238}U (^{226}Ra) и т.п.) и климатическими условиями, влияющими на режим эксплуатации помещений.

Анализ облучения населения России природными источниками ионизирующего излучения на основе информации, содержащейся в Федеральном банке данных [Барковский и др., 2021], позволяет констатировать следующее: средняя по стране индивидуальная годовая эффективная доза облучения населения за счет всех ПИИИ составляет около

3,4 мЗв/год, причем наибольшая ее часть формируется за счет облучения населения изотопами радона в воздухе помещений – в среднем около 59,3%.

Средние по регионам значения ЭРОА изотопов радона в жилых и общественных зданиях находятся в диапазоне от 12 до 117 Бк/м³, при среднем значении по Российской Федерации 29 Бк/м³. Средние по регионам значения индивидуальной годовой эффективной дозы облучения населения за счет изотопов радона в жилых и общественных зданиях находятся в диапазоне от 0,7 до 5,9 мЗв/год.

Самые низкие средние значения ЭРОА изотопов радона в воздухе зданий (в два раза ниже среднего значения по РФ) характерны для Брянской, Тюменской, Сахалинской и Ульяновской областей, Камчатского края, Республики Марий Эл, Чеченской Республики, Чукотского округа. Наиболее высокие уровни отмечены в Ставропольском (5,7 мЗв/год) и Забайкальском краях (7,8 мЗв/год), Республиках Алтай (8,6 мЗв/год) и Тыва (5,6 мЗв/год), Еврейской АО (6,35 мЗв/год).

В Российской Федерации, за период 2001–2017 гг. повышенному (свыше 5 мЗв/год) облучению ПИИИ подвергается население численностью более 7 млн чел., проживающее на территории 6 субъектов РФ [Барковский и др., 2018]. Согласно другой оценке, основанной на более консервативном подходе, эта численность составляет около 2 млн чел. [Маренный и др., 1999]. В 19 субъектах РФ выявлены отдельные группы населения (около 44 тыс. чел.), облучающиеся в дозах свыше 10 мЗв/год [Романович и др., 2018].

Таким образом, информация по результатам преимущественно мгновенных измерений содержания радона, накопленная в ФБДОПИ в рамках ЕСКИД по форме № 4-ДОЗ, позволила получить с достаточной достоверностью средние по Российской Федерации и каждому из ее субъектов значения уровней отдельных компонент природного облучения и соответствующих доз облучения. Наличие подобных данных позволило сделать выводы о ситуации в стране с облучением населения ПИИИ и об остроте «радоновой проблемы» в отдельных субъектах РФ.

В 2003 г. в ГНЦ ИБФ (в последующем – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России) был организован Ведомственный банк данных индивидуальных доз облучения персонала организаций и населения на территориях, медико-санитарное обеспечение которых осуществляет ФМБА России и Минобороны России (более подробно см. главу 3.1). В нем, в частности, аккумулируется информация об облучении ПИИИ населения совокупной численностью более миллиона человек (около 1270 тыс. чел). В соответствии с Положением банк данных является информационным партнером ФБДОПИ.

Анализ такого рода информации в процессе дальнейшего накопления данных в ФБДОПИ позволит уточнить отдельные оценки, но вряд ли коренным образом изменит сделанные выводы.

Дальнейшее развитие федерального банка данных должно быть связано с ориентацией на преимущественное пополнение его адресной информацией о результатах спланированных выборочных исследований помещений, проводимых с использованием длительных двухсезонных измерений ОА радона.

Такая система накопления информации о проведенных обследованиях позволит достоверно выявлять здания и помещения с уровнями облучения ПИИИ (главным образом радоном), не удовлетворяющие требованиям действующих нормативных документов, а ее использование даст возможность предметно осуществлять адресные защитные мероприятия.

В ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России на протяжении около 15 лет функционирует прошедшая несколько модификаций база данных «Радон» [Пенезев и др., 2010] (более подробно см. главу 3.1). Специфической отличительной особенностью этой базы данных от упомянутых выше банков данных является то, что в «радоновой» части она специализирована на хранении в специально разработанном формате результатов измерения ОА радона в помещениях зданий различного назначения за длительные периоды времени [Маренный, 2012] в соответствии с разработанными методическими

документам [МВИ 2.6.1.003-99; МУ 2.6.1.2838-11]. Только в период 2008–2016 гг. проведены обследования на 26 территориях, обслуживаемых ФМБА России, и в 106 городах и населенных пунктах городского типа 28 других субъектов РФ. Общее количество измерений составляет более 35 тысяч. Примерно 10% этих измерений сопровождалось измерениями гамма-фона.

Все данные носят адресный характер и, помимо результатов измерений, содержат строительные характеристики зданий, в которых находятся обследованные помещения, характеристики помещений, периоды измерений, уровни гамма-фона и др. Благодаря этой особенности имеется возможность оценки не только средних значений уровней облучения по обследованным населенным пунктам и регионам, но и с высокой достоверностью выявлять отдельные объекты с превышением действующих нормативов по облучению ПИИИ, что необходимо для принятия конкретных управленческих решений о проведении защитных мероприятий.

Наряду с проведением оценок масштаба радоновой проблемы на третьем этапе получили развитие работы по противорадоновой защите зданий, предусмотренные на этапах проектирования, выбора участков застройки и строительства (так называемые превентивные меры). Эта деятельность регламентировалась принятым в 1997 г. сводом правил по инженерно-экологическим изысканиям для строительства [СП 11-102-97]. Для проверки соответствия зданий требованиям нормативов (пп. 5.3.2 и 5.3.3 НРБ-99/2009), в соответствии с ОСПОРБ 99/2010 на всех стадиях строительства проводится радиационный контроль, позволяющий в конечном итоге оценить эффективность радонозащитных мер. Действенность радиационного контроля, как оказалось, во многом определяется порядком его проведения, что можно проиллюстрировать на следующем примере. Проводимый в течение почти десяти лет в отдельных субъектах Российской Федерации (г. Санкт-Петербург и Ростовская область) [Соловьев и др., 2010; Горский и др., 2008] обязательный санитарный контроль за соблюдением нормативов при вводе в эксплуатацию построенных зданий показал

устойчивую динамику постепенного заметного снижения ЭРОА радона в воздухе сдаваемых в эксплуатацию зданий. Принятие нового Градостроительного кодекса и Технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» принципиально изменило этот порядок контроля: вместо обязательного радиационного контроля введена система добровольной оценки подрядчиком соответствия объектов строительства установленным нормативам. Практика его применения (на примере Санкт-Петербурга) показала, что существовавшая тенденция снижения доз за последние 10 лет изменилась на диаметрально противоположную. Следует отметить, что замена обязательного санитарного контроля декларацией подрядчика может быть особенно губительна по мере развития во всех регионах страны коттеджного, малоэтажного, а также энергосберегающего строительства. В конечном итоге это может привести к увеличению доли новых «радоноопасных» зданий. Эти факты требуют поиска «наилучших практик» в сфере обязательного или декларируемого контроля при проведении радонозащитных мероприятий при сдаче в эксплуатацию новых зданий. Кроме того, накопленный опыт противорадоновой защиты зданий при строительстве показал необходимость совершенствования принятого в 1997 г. свода правил [СП 11-102-97] в части оценок радоноопасности участков под строительство. В настоящее время эти положения реализованы в своде правил «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [СП 502.1325800.2021].

По сравнению с работами по противорадоновой защите при строительстве новых зданий (превентивным мерам), мероприятия по нормализации радоновой обстановки (снижению уровня содержания радона в воздухе эксплуатируемых зданий) не получили должного распространения. Во многом это связано с неразвитым рынком радоновых услуг, отсутствием даже региональных баз данных по наилучшим практикам применения в строительном бизнесе различных радонозащитных мер. Однако приоритетным фактором, оказывающим влияние на эффективность

проводимых мероприятий, является степень информированности о радоновых рисках и вовлеченность населения в процесс имплементации основных элементов радоновой программы. В этом отношении следует отметить, что основная проблема заключается в низкой степени заинтересованности людей в решении данной проблемы. Поэтому развитие коммуникативных стратегий, работа с населением, заинтересованными сторонами и многослойное взаимодействие на федеральном, региональном и местном уровнях являются определяющими элементами успешной реализации радоновых программ. Кроме того, низкий уровень информированности населения о радоновой проблеме не способствуют развитию мотивации у домовладельцев, арендаторов и покупателей жилья к измерению уровней радона и проведению превентивных и корректирующих радонозащитных мероприятий [Кононенко, 2022].

В рамках опроса общественного мнения о радоне, организованного под эгидой МАГАТЭ, в Российской Федерации был проведен интернет-опрос 1500 респондентов [Давыдов и др., 2021]. Исследование показало весьма низкий уровень информированности населения Российской Федерации о радоне: всего 31,7% респондентов заявили, что осведомлены о радоне в той или иной степени; уровень знаний о радоне как о факторе риска для здоровья примерно такой же. Проблема радона воспринимается респондентами как третья по степени опасности среди прочих радиационных рисков, например, после территорий с высокой природной радиоактивностью и АЭС. При этом стоит отметить, что для половины респондентов (52,2% для персонального риска, 49,5% для общественного) риск за счет радона является «умеренным», «низким» или «отсутствует», и только для трети опрошенных (30,6% для персонального риска, 33,7% для общественного) он является «высоким» или «очень высоким». Наиболее популярными источниками информации являются интернет, социальные сети, телевидение. При этом больше всего опрошенные доверяют медикам: в первую очередь семейным врачам и врачам в поликлиниках, а также центрам медицинской профилактики,

Роспотребнадзору, региональным и местным органам здравоохранения. Результаты выполненного исследования, которое явилось первым социологическим опросом в масштабах всей страны, сфокусированным на проблемах, связанных с радоном, могут быть использованы в качестве основы при планировании коммуникационных стратегий в рамках как национальной, так и региональных радоновых программ.

Выводы, сделанные специалистами Роспотребнадзора, подкрепляются результатами опросов региональных органов ФМБА России, осуществляющих надзорную деятельность в районах расположения радиационно-опасных объектов. Население крайне низко информировано о проблеме облучения радоном, о чем свидетельствует низкая обращаемость населения в надзорные органы для проведения исследований (табл. 1.3.9). Обращения граждан на предмет измерений радона в среде обитания зафиксированы только в четверти всех анкетизируемых организаций.

Таблица 1.3.9 – Количество обращений населения в региональные органы ФМБА России на предмет оценки содержания радона в объектах окружающей среды (2012–2016 гг.)

Повод обращения населения	Количество обращений
Эксплуатируемые помещения (воздух)	31
Новые здания, вводимые в эксплуатацию, включая объекты малоэтажного строительства (воздух)	47
Вода	193
Грунт (оценка радоноопасности земельного участка под строительство)	333

Исследование структуры обращаемости населения по данному вопросу показало, что наибольшую заинтересованность населения вызывает содержание радона в почве и воде (рис.1.3.2).

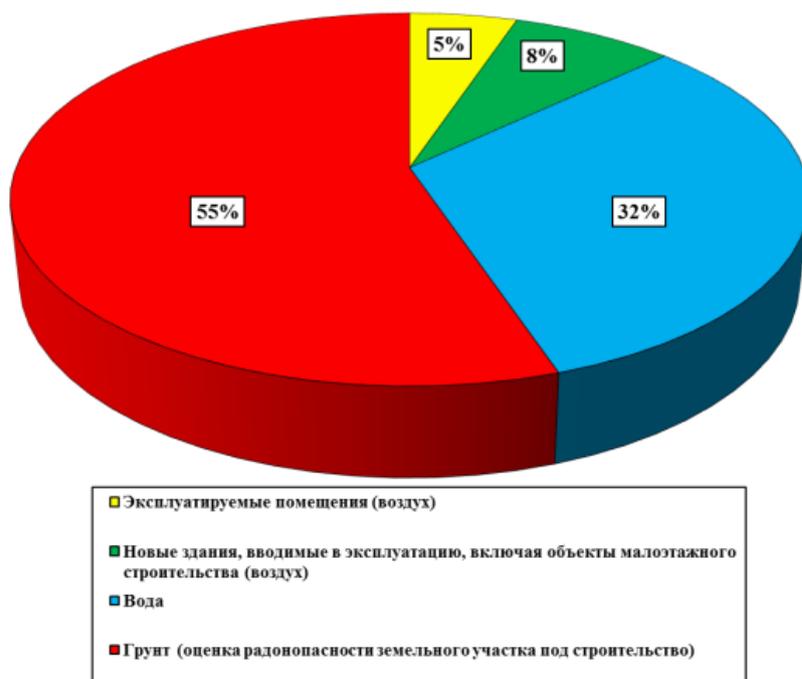


Рисунок 1.3.2 – Структура обращаемости населения по вопросам оценки радоноопасности

Ознакомительный информационный материал о влиянии радона на здоровье человека необходимо сделать наглядным, легко воспринимаемым всеми слоями населения. Учитывая заинтересованность надзорных органов в информационных материалах по радоновой тематике, специалистами ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна во взаимодействии с надзорными органами ФМБА России разработан плакат-постер, в котором основной упор делался на проблему онкологической заболеваемости раком легкого, которая волнует население. Радон в данном случае рассматривается в совокупности с вредным воздействием табачного дыма. Оба этих фактора являются основными канцерогенными факторами при развитии данного заболевания.

Основным ориентиром, определяющим стратегию планирования указанной деятельности, являются утвержденные указом Президента РФ от 13.10.2018 № 585 «Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу». В нем констатируется, что одной из основных проблем обеспечения радиационной безопасности при облучении населения ПИИИ, в том числе радоном, является «наличие в Российской

Федерации групп населения с повышенными и высокими уровнями радиоактивного облучения вследствие воздействия природных радионуклидов». Поэтому в целях реализации государственной политики предусмотрено «уменьшение опасного воздействия радиационных факторов на население, проживающее на территориях с повышенным уровнем естественного радиационного фона». Кроме того, в документе определены основные направления деятельности по обеспечению радиационной безопасности населения при облучении ПИИИ. Это «совершенствование государственного контроля (надзора) за воздействием на здоровье человека ПИИИ, в том числе радона и продуктов его распада, в жилых домах, детских учреждениях, общественных и производственных зданиях» и «поддержание на возможно низком уровне доз облучения населения, подвергающегося воздействию радиационных факторов за счет природных источников излучения, в том числе радона и продуктов его распада».

Указанные в Основах направления определяют стратегию планирования мероприятий по совершенствованию нормативно-правовой базы регулирования радиационной безопасности населения при облучении ПИИИ, в том числе природным радиоактивным газом радоном. Ориентируясь на современные рекомендации МКРЗ и стандарты безопасности МАГАТЭ [Труды МКРЗ, 2013; Труды МКРЗ, 2015; Труды МКРЗ, 2009; Нормы безопасности МАГАТЭ, 2015], следует констатировать, что впервые обозначенное в Основах направление деятельности по поддержанию на возможно низком уровне доз облучения населения при воздействии радона и продуктов его распада связано с решением двух ранее упомянутых взаимосвязанных ключевых задач. Первая – это уменьшение доли лиц, проживающих на радоноопасных территориях и подвергающихся неприемлемо высоким индивидуальным рискам, связанным с радоном; вторая – это уменьшение среднего значения индивидуального радонового риска для всего населения страны. Планомерное решение обеих задач позволит достичь конечной цели радоновой стратегии – снизить

заболеваемость и смертность населения от радон-индуцированных раков легкого.

«Основы государственной политики...», действующие законодательные и нормативные акты и сложившаяся организационная структура во многом определяют направления деятельности в области решения радоновой проблемы на современном этапе.

Таким образом в стране существуют информационно-аналитические ресурсы, аккумулирующие данные об уровнях радиационного воздействия ПИИИ на население. К ним относятся Федеральный банк данных, базирующийся в ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, ведомственный банк данных в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, база данных «Радон», специализированная на сборе, хранении и анализе результатов интегральных измерений ОА радона в помещениях населенных пунктов субъектов РФ и ЗАТО, которая разработана и поддерживается в ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России.

Важным результатом ведения и ежегодного пополнения информационно-аналитических баз данных о ПИИИ является выявление регионов России с разной степенью радоноопасности. Однако различная ведомственная принадлежность информационных баз данных не позволяет в полной мере использовать их потенциал в практике обеспечения защиты населения от ПИИИ.

Основываясь на опыте, достигнутом в ходе реализации мероприятий в рамках ФЦП «Радон» и нескольких ФЦП ОЯРБ (2008–2019 гг.), дальнейшее направление надзорной деятельности в этой области регулирования заключается в формировании адресной стратегии защиты населения с учетом высокой гетерогенности распределения радона на территориях как с высоким, так и низким радоновым потенциалом.

Учитывая высокую социальную значимость, а также принимая во внимания тот факт, что одной из основных критических групп при облучении радоном являются дети, одной из первоочередных задач стратегии

защиты населения от ПИИИ является мониторинг детских садов и школьных учреждений на предмет выявления помещений с повышенными уровнями природного облучения.

Исследование общественного мнения относительно проблемы радона указывает на необходимость повышения эффективности распространения информации о радоновых рисках на национальном и региональном уровнях.

1.3.4.2. Зарубежный опыт по защите населения от облучения радоном

Реализация мероприятий по защите населения от облучения радоном в странах ЕС осуществляется в соответствии с требованиями Директивы Совета ЕС 2013/59/Euratom [Council Directive..., 2013], которой было предусмотрено обязательное принятие к 2018 г. национальных планов действий по радону. Их содержание должно отвечать приведенным ранее требованиям ОНБ МАГАТЭ (Часть 3, Требование 50 «Облучение населения радоном в помещении») [Нормы безопасности МАГАТЭ, 2015].

Особенности формирования современных национальных планов действий связаны со степенью актуальности радоновой проблемы для отдельных европейских стран, определяемой результатами обследований территорий на содержание радона в воздухе помещений. В ряде стран Западной Европы эти работы начали проводиться как в рамках национальных радоновых обследований, так и отдельных мероприятий задолго до публикации современных международных рекомендаций.

Представление об уровне радоновой опасности можно получить на основании анализа деятельности стран ЕС по картированию территорий [Tollefsen et al., 2014; De Cort et al., 2011] (информация об организации этих работ более детально изложена в разделе 3.4.3). Далее приводится только информация по отдельному проекту ЕС, целью которого было создание карты на основе данных из 24 стран ЕС о распределении среднегодовой ОА радона в помещениях на первом этаже зданий. Измерения ОА радона были привязаны к ячейкам сетки 10×10 км, на которые была разбита территория

каждой страны. Для всех представленных стран более 30% из заполненных ячеек имеют среднее арифметическое значение среднегодовой ОА радона в помещениях более 100 Бк/м^3 и 4,2% – более 300 Бк/м^3 . Среднее арифметическое среднегодовой ОА радона, превышающее 100 Бк/м^3 , наблюдается для 90% всех обследованных ячеек в Чехии; для Норвегии этот показатель составил 70%, для Швейцарии – 54%, для Финляндии и Австрии – 40%, для Италии – 38%, для Бельгии и Франции – 28%, для Испании и Португалии – около 24%, для Германии – 16%, для Литвы, Великобритании и Греции – менее 10%. В Нидерландах ни одна из обследованных ячеек не имеет значений выше уровня 100 Бк/м^3 [Dubois, 2005]. В целом, значение среднегодовой ОА радона в помещениях на первом этаже зданий колеблется в широких пределах: Чехия – 140 Бк/м^3 , Финляндия – 120 Бк/м^3 , Швеция – 102 Бк/м^3 , Австрия – 97 Бк/м^3 , Норвегия и Ирландия – 89 Бк/м^3 , Швейцария – 77 Бк/м^3 , Франция – 63 Бк/м^3 , Бельгия – 48 Бк/м^3 , Великобритания – 20 Бк/м^3 [Dubois, 2005]. В ходе выполнения проекта было отмечено, что высокие среднегодовые значения ОА радона (от 200 Бк/м^3 и выше) характерны для горных массивов, расположенных в Чехии, Франции, странах Скандинавии, Швейцарии, Австрии, Италии и др.

Эти примеры демонстрируют различия проблемы радона для европейских стран и тем самым определяют особенности национальных планов действий по снижению радоновой опасности [Vochicchio et al., 2022].

Одни из самых высоких в Европе значений ОА радона внутри помещений отмечаются в скандинавских странах. В Финляндии измерения содержания радона в домах с использованием трековых детекторов с 1980-х гг. осуществляет Управление радиационной и ядерной безопасности Финляндии (STUK) [Castren, 1992]. Создана база данных, которая содержит результаты измерений, выполненных в около 100 000 домах разного типа. [Valmari et al., 2010b]. В ней накоплена информация об ОА радона в жилищах с указанием адреса, типа здания, фундамента и назначения помещения, а также проведенных радонозащитных мероприятий и т.п. База данных

используется при подготовке и последующем обновлении радоновых карт, а также Национального радонового атласа Финляндии [Valmari et al., 2010a; Valmari et al., 2010b]. Для оценки изменений общенациональной средней ОА радона организуются общенациональные радоновые обследования с использованием рандомизированной случайной выборки (объемом около 3000 домов). Эти данные используются при реализации радонозащитных мероприятий. В качестве альтернативы этим затратным репрезентативным выборочным исследованиям разработаны расчетные методы оценки ОА радона, взвешенной по плотности жилищного фонда.

В 2004 г. национальным строительным кодексом Финляндии установлен референтный уровень при планировании новых зданий 200 Бк/м^3 . Принятие соответствующих сводов строительных правил и применение превентивных мер с внедрением новых радонозащитных технологий при строительстве зданий [Mäkeläinen, 2010] позволили достичь хорошей динамики снижения ОА радона в помещениях, особенно в радоноопасных районах. Например, в таких районах в новых зданиях к 2005 г. ОА радона в течение 5 лет наблюдения снизилась на 11%, а в остальных районах на 4,5%. При проведении мероприятий по нормализации радоновой обстановки в существующих зданиях государством предусмотрено оказание некоторой финансовой поддержки.

Деятельность по снижению опасности от воздействия радона осуществляется с достаточно широким привлечением общественности. Тем не менее, отмечается необходимость дальнейшего развития коммуникационных технологий, особенно в сфере строительных технологий и научных исследований.

Швеция имеет более чем 30-летний опыт в решении радоновой проблемы, который реализуется комплексно в рамках национального плана действий, имеющего своей целью снижение ОА радона ниже 200 Бк/м^3 во всех школах, детских садах и жилых помещениях [Skeppström, 2014].

Мероприятия этого плана включают проведение измерений ОА радона, применение современных строительных технологий для снижения содержания радона в воздухе помещений строящихся и существующих зданий с учетом интенсивности его поступления из почвы, строительных материалов и подземных вод [Åkerblom et al., 1990]. Ответственность за их реализацию разделена между центральным, региональным и местным уровнями. При обеспечении радонобезопасности акцент делается не на разграничение территории по степени риска, а на развитие стратегии системных проверок и доказательств наличия определенных уровней ОА радона.

В Швеции было организовано несколько общенациональных обследований, осуществленных местными органами власти. Измерения ОА радона проводятся отдельными частными компаниями, однако их результаты не объединены на национальном уровне. К 2005 г. были проведены измерения примерно в 500 000 жилищ, что составляет около 10% жилого фонда страны. Оценка ежегодных средних значений ОА радона в жилищах в Швеции (это около 4,5 млн. жилищ) составила 108 Бк/м³, при этом доля помещений с уровнями ОА от 200 до 400 Бк/м³ была оценена примерно в 6–7%, а с уровнями ОА свыше 400 Бк/м³ – около 4% [Åkerblom, 1993]. С 1979 г. в Швеции на муниципальном уровне выпускаются карты радонового риска, содержащие данные о радоноопасности геологических сред, измерениях радона в жилищах и на рабочих местах [Åkerblom, 1996]. Ни один орган не несет основной ответственности за координацию работ по радоновой проблеме на национальном уровне, и общественность часто путается в разделении обязанностей между ними. В качестве шага, направленного на решение этой проблемы, была основана Шведская ассоциация консультантов по радону.

Опыт реализации национального плана действий показал, что основными проблемами в Швеции являются: взаимодействие между всеми ответственными органами; потребность в сотрудничестве с научными

академиями; информирование общественности о риске; снижение уровня радона на рабочих местах.

В **Норвегии** первые радоновые обследования были начаты в 1970-х гг. и включали измерения как в рудниках, так и в жилищах. Первые рекомендации по радону в жилых помещениях были изданы в 1980-х гг. В начале XXI в. Норвежское агентство по радиационной защите провело национальное радоновое обследование примерно 29 000 жилищ [Strand et al., 2001; Strand et al., 2003], по результатам которого был установлен процент жилищного фонда с превышением уровня ОА радона в 200 Бк/м³.

В июле 2009 г. была принята новая национальная стратегия по снижению воздействия радона [Strategy ..., 2010], которая соответствовала рекомендациям ВОЗ [WHO, 2009], а также выпущенным позже Публикации 126 МКРЗ и Руководству МАГАТЭ «Защита населения от облучения радоном и другими природными источниками излучения в помещении» [IAEA SSG-32]. Роль национального органа по ее реализации была возложена на Министерство здравоохранения и социального обслуживания, а контроль выполнения мероприятий принятой стратегии – на Норвежское агентство по радиационной защите. Формирование национальной стратегии осуществлялось в течение двух лет, предшествующих ее принятию. Особенность этой деятельности состояла в том, что она осуществлялась специалистами в области радиационной защиты с участием представителей профсоюзов, неправительственных организаций, других заинтересованных сторон, что способствовало осведомленности населения о ее содержании.

В целом новая радоновая стратегия была ориентирована на две ключевые цели:

- снижение уровня ОА радона во всех зданиях и помещениях до установленных пределов;
- создание условий для снижения воздействия радона в Норвегии до разумно достижимого низкого уровня, в соответствии с принципом

ALARA.

Непосредственно она состояла из шести субстратегий, которые предусматривали снижение уровня ОА радона при территориальном планировании, при строительстве новых и радонозащите существующих зданий, при производственной деятельности и использовании общественных зданий с высокой посещаемостью населением. Отдельная субстратегия была направлена на обеспечение качества жизни некоторых норвежских общин, имеющих особенно серьезные проблемы, связанные с радоном (тех, где в бóльшей части зданий зафиксированы ОА радона на уровне 2000–5000 Бк/м³).

Другая группа стран, в которых отмечаются высокие ОА радона в воздухе помещений, расположена в центральной части западной Европы. К этой группе, в первую очередь, относятся Чешская Республика, Швейцария, отдельные территории Австрии, Франции и Италии. Среди данной группы стран наибольшего внимания заслуживает опыт Чехии по снижению радоновой опасности, который будет рассмотрен в этом разделе более детально.

В **Чехии** мероприятия по снижению опасности облучения населения радоном имеют более чем 30-летнюю историю. Измерительные кампании, начатые в 1985 г. и проводимые на регулярной основе, позволили обследовать около 200 тысяч жилищ [Petrova et al., 2014]. Создана карта среднегодовых значений ОА радона в помещениях всех муниципалитетов [Hulka, 2004]. Начиная с 1995 г., проводятся измерения объемной активности радона в почвенном воздухе во всех геологических единицах республики. В настоящее время имеется информация о 9 тысячах отдельных площадок, где проведены эти измерения. В обязательном порядке осуществляются предварительные измерения радона в почвенном воздухе до начала строительства новых или реконструкции существующих зданий.

Масштабные мероприятия по снижению радоновой опасности были начаты в Чешской республике также в 70–80-х гг. прошлого столетия. Это было вызвано острой необходимостью нормализации радиационной обстановки в домах, построенных в 1900–1985 гг. из строительных материалов (штукатурка, известь, пенобетон, шлаки), содержащих значительное количество ^{226}Ra . В процессе этих работ часть домов была разрушена (в г. Яхимов), строительные отходы удалены, остальные здания были реконструированы в 1990-х гг. При выполнении этих мероприятий правительством было принято решение о возмещении жителям затрат. Однако только 4% домовладельцев продали свои дома правительству, большинство согласилось провести необходимые защитные мероприятия.

Результаты этой деятельности позволили выявить наиболее эффективные методы проведения мероприятий по нормализации радоновой обстановки, а также подходы к совершенствованию регулирования и контроля содержания радионуклидов в строительных материалах. В частности, для поставщиков было введено обязательное требование о ежегодном представлении в регулирующие органы данных о содержании радионуклидов в поставляемых материалах.

Накопленный опыт в этой сфере деятельности был положен в основу разработки национального плана действий, который с определенной периодичностью (каждые 10 лет, начиная с 1999 г.) корректируется в соответствии с современными рекомендациями ЕС, ВОЗ, МКРЗ и МАГАТЭ.

Последовательная реализация задач, определяемых в корректируемом каждом десятилетие национальном плане действий, осуществляется на межведомственной основе с участием различных министерств и ведомств, координацию деятельности которых и оценку выполненных задач осуществляет Государственное управление ядерной безопасности [Petrova et al., 2014].

Выполнение плана базируется на законодательных и нормативных актах (Закон об атомной энергии – Atomic Act, Строительный кодекс –

Building Code), принятых технических стандартах (Защита зданий от радона, поступающего из почвы – ČSN 73 0601 Protection of buildings against radon from the soil, Защита зданий от радона, поступающего из строительных материалов – ČSN 73 0602 Protection of buildings against radon from building materials), а также на утвержденных методических документах по измерению ОА радона и проведению радонозащитных мероприятий [Petrova et al., 2014].

Приоритетная роль в национальном плане действий отводится широкому вовлечению населения, заинтересованных организаций и лиц. В этих целях ежегодно выпускается две публикации, которые распространяют среди всех департаментов, контролирующих строительство, и в радоноопасных районах всех муниципалитетов. Содержащаяся в них информация адресована как населению, так и заинтересованным лицам: проектировщикам, строителям и архитекторам, специалистам агентств по недвижимости и ипотечному кредитованию, врачам, преподавателям в школах. Организован специальный веб-сайт, посвященный радоновым программам. Периодически проводятся социологические опросы, позволяющие оценить информированность населения о радоне, об отношении к измерительным кампаниям, индивидуальной реакции на высокие уровни содержания радона и т.п. По результатам данных опросов отмечается, что уровень осведомленности населения о радоне достаточно высок (80% опрошенных знают о радоне). Однако эта осведомленность не является мотивирующим стимулом для проведения радонозащитных мероприятий: 20% населения вообще не интересуется радонами. Знание о том, что радон является причиной рака легкого, имеют 26% врачей, при этом только 40% пульмонологов и онкологов знают об этой связи. Население не готово тратить деньги на защиту от радона, предпочитая бесплатные измерения и простые меры по снижению радона, связанные с проветриванием помещений. Ни население, ни профессионалы не заинтересованы в поиске информации о радоне.

Основу всех мероприятий национального плана действий определяет наличие достаточно объективной информации о содержании радона в жилищах в различных районах страны. Будут продолжены целевые обследования на основе долговременных измерений в радоноопасных районах, которые во всех муниципалитетах этих районов и примерно в 10% домов в других муниципалитетах проводятся бесплатно. Предусмотрено дальнейшее проведение репрезентативных обследований и геологических прогнозов для создания карт радонового риска различного масштаба.

При выполнении плана предусматривается решение одного из принципиальных вопросов – установление референтного уровня ОА радона. Несмотря на рекомендованные предельные значения референтных уровней (для существующих зданий – 400 Бк/м³, для новых – 200 Бк/м³), изучается возможность установления рекомендованного ВОЗ оптимального референтного уровня – 100 Бк/м³ и ниже [Petrova et al., 2014]. Достижение таких уровней содержания радона в существующих зданиях в масштабах страны является трудноосуществимой задачей. Ее решение осуществляется на основе поиска «наилучших практик» радонозащитных мероприятий в ходе научных исследований, организация которых в рамках принятого национального плана действий лежит в сфере ответственности правительства.

Осуществление превентивных мер направлено на предотвращение превышения установленного референтного уровня (200 Бк/м³) ОА радона в новых зданиях. При строительстве новых зданий организован обязательный радиационный контроль всех источников поступления радона внутрь помещения (грунт, стройматериалы, вода). Предусматривается обязательная оценка радонового индекса для каждой стройплощадки перед новым строительством и применение мер радиационной защиты нового здания в соответствии со строительным кодексом. Принципы проектирования и применения различных типов радонозащитных мероприятий определены стандартами 1995, 2000, 2006 гг. С 1991 г. построено около 200 000 домов с

использованием превентивных мер, однако примерно 2/3 из них требуют проведения дополнительных защитных мероприятий (ежегодно около 12 000 зданий). В соответствии со стандартом 2005 г. развивается стратегия «Радоновая этикетка» (Radon label). Она служит для сравнения измеренных значений ОА радона в воздухе жилища с установленным референтным уровнем, а также обеспечивает информацией о рисках возникновения рака легкого при облучении радоном.

В принятом плане предусматривается жесткий контроль выполнения радонозащитных мероприятий, в основу которого положена оценка их эффективности после завершения: вначале – краткосрочное измерение, выполняемое коммерческими компаниями, затем – долгосрочное измерение продолжительностью в 1 год. Такой подход обусловлен тем, что отсутствие в ходе предыдущего плана эффективного контроля и должных навыков у строителей стало причиной некачественного проведения радонозащитных мероприятий примерно на 25% объектов, приводивших в отдельных случаях к ухудшению ситуации после их выполнения, что вызывало недоверие населения к радоновым программам.

Кроме того, была разработана программа «радоновой диагностики» дома для оценки реальных уровней, источников и путей поступления радона. Ее проведение предусматривало использование новых технологий: нагнетающей воздух двери (Blower door), измерений мощности вентиляции с помощью инфракрасного термографа, позволяющего установить путь поступления радона по разности температур воздуха внутри и снаружи помещения. Рекомендованы технологии, основанные на одновременном измерении содержания радона в различных частях дома, что позволяет учесть активность человека внутри помещения, режим вентиляции и поступления тепла. Проводится политика поддержки индивидуальной деятельности по развитию «радоновой индустрии», в рамках которой поощряются интегральные измерения радона (например, при продаже

домов), внедрение процедуры «радоновой диагностики», проведение радонозащитных мероприятий.

Правительство Чешской Республики осуществляет также субсидирование радонозащитных мероприятий (включая оценку их эффективности). В настоящее время частные дома и школы при ОА радона более 1000 Бк/м^3 , а также организации, эксплуатирующие источники водоснабжения с УА радона более 300 Бк/л , получают субсидию в размере 5 тыс. евро.

В заключение рассмотрения мероприятий, осуществляемых в Чешской Республике в рамках радоновой стратегии, следует отметить, что у руководителей стратегии имеется четкое представление о том, что достижение результатов по снижению содержания радона внутри помещений и смертности населения от рака легкого требует длительного периода времени. Решение этой задачи зависит от активной позиции домовладельцев, формирование которой основано на объективной информации о радоне, которая должна быть предоставлена им уже сейчас. Поэтому информирование населения в рамках принятой радоновой стратегии стоит на первом месте.

В **Ирландии** первые исследования радоновой проблемы стали проводиться в 1990-х гг. По результатам национального обследования более чем 11 тыс. ирландских домов ежегодные средние значения ОА радона в жилищах составили 89 Бк/м^3 , при этом около 7% национального жилищного фонда характеризуются ОА радона выше референтного уровня в 200 Бк/м^3 [Fennel, 2002]. В 2014 г. была начата реализация национальной стратегии контроля радона, в рамках которой выполняются мероприятия аналогичные тем, которые были рассмотрены ранее в Чехии и других европейских странах. Особенность национальной стратегии в Ирландии состоит в том, что в ней предусмотрены мероприятия при сделках с недвижимостью (продажа и аренда), которые способствуют выявлению жилищ с высокими уровнями содержания радона [Fenton, 2014].

При купле-продаже частного жилья предусмотрена обязательная передача продавцом информации об уровне содержания радона в помещениях покупателю. Подобные меры, применяемые в Англии и Уэльсе уже более 10 лет, положительно влияют на увеличение охвата жилого фонда измерениями, не приводят к каким-либо значительным задержкам процесса купли-продажи, а также способствует повышению информированности в среде основных заинтересованных сторон (адвокатов, аукционистов, геодезистов, компаний, предоставляющих услуги по измерению содержания радона и т.д.).

При аренде жилья (24% всего жилищного фонда) будет действовать свод «Положений о жилищных условиях» (стандарты для арендованных домов), в которых определены требования к арендодателям в части предоставления информации об уровнях радона в сдаваемых помещениях [NRCS, 2014]. Кроме того, работодатели и лица, предоставляющие соответственно рабочие места и ответственные за коммерческие здания, должны отражать подходы к решению проблемы радона в договорах по строительству зданий для аренды, лизинга, а также в договорах страхования.

В заключение следует отметить, что как мероприятия при сделках с недвижимостью, так и другие разделы национальной стратегии контроля радона в Ирландии характеризуются сочетанием детального изложения мер и их адресности, а по своей направленности во многом аналогичны используемым большинством европейских стран.

В Соединенных Штатах Америки потенциальная опасность радона в жилищах стала известна широкой общественности в 1980-х гг. Особенность мероприятий по снижению потенциальной опасности радона в США характеризуется разделением ответственности между федеральным уровнем и штатами. На федеральном уровне издаются необходимые руководящие принципы, руководства и инструкции, в которых до членов общества доводится информация об опасности радона, разработанных нормативных

актах, а также мероприятиях по снижению рисков для здоровья от его воздействия до определенных значений [Long, 2014].

В 1993 г. под эгидой Агентства по охране окружающей среды США создана карта радоновых зон, которая охватывает всю территорию страны и представлена в открытом доступе [EPA]. В основу формирования зон положена оценка радонового потенциала для каждого из 3141 округов США. Радоновый потенциал оценивался на основании прогнозируемого среднего уровня содержания радона в помещениях и представляет собой среднее геометрическое значение ОА радона (в пикокюри на литр – пКи/л) в воздухе зданий, расположенных в округе. Оценки радонового потенциала (РП) скорректированы с учетом имеющихся фактических данных, неопределенностей результатов измерений, геологического строения территории, проницаемости грунтов, данных аэро-гамма-съемки, типа фундамента зданий. Границы геологических провинций, составляющих основу карты, были адаптированы к границам округов. Это позволило представить всю территория страны на уровне округов и отнести их соответственно к зонам высокой ($РП > 4$ пКи/л [148 Бк/м^3], средней (2 пКи/л [74 Бк/м^3] $< РП < 4$ пКи/л [148 Бк/м^3]), или низкой ($РП < 2$ пКи/л [74 Бк/м^3]) радоноопасности.

Цель этой карты состоит в том, чтобы помочь штатам оценить свои ресурсы в зависимости от значений радонового потенциала, а затем, руководствуясь соответствующими сводами строительных правил, провести необходимые мероприятия по нормализации радоновой обстановки или принять превентивные меры, обеспечивающие радонобезопасности зданий.

При рассмотрении законов и регулирующих правил отдельных штатов можно отметить, что их качество и тип от штата к штату значительно различаются. Отдельные штаты лицензируют или сертифицируют радоновые услуги, в том числе по проведению измерений радона, радонозащитным мероприятиям и др. [McBurney, 2014].

В США в соответствии с актом об информировании о радоне (Radon Awareness Act) принято указывать информацию об этом радиоактивном газе при проведении сделок с недвижимостью.

Мероприятия по нормализации радоновой обстановки в домовладениях осуществляются по принципу «сделай сам». Измерение содержания радона в жилище рекомендуется проводить самостоятельно с помощью набора для тестирования. Домовладельцам предлагается приобрести наборы в радоновых лабораториях или розничных торговых точках, или нанять квалифицированных специалистов для проведения измерений, особенно если их результаты необходимы при осуществлении сделок с недвижимостью, для которых требуется независимый результат третьего лица. Измерительная аппаратура и специалисты должны быть утверждены Национальной ассоциацией по гигиене окружающей среды, Национальным советом по обеспечению защиты населения от радона или радоновой программой штата. Ориентиром для проведения этих стандартных процедур является Руководство для граждан по радону Агентства по охране окружающей среды. Более подробные рекомендации могут быть получены в департаментах охраны окружающей среды или здравоохранения штатов.

Аналогичные подходы приняты при проведении радонозащитных мероприятий в существующих и строящихся зданиях. При строительстве новых зданий в районах с радоновым потенциалом выше 4 пКи/л (148 Бк/м^3) рекомендуется применение радоновых барьеров. При строительстве в округах, имеющих высокий радоновый потенциал, рекомендован стандарт «Кодекс устоявшейся практики для контроля радона при проектировании и строительстве новых малоэтажных жилых домов» [McBurney, 2014].

Однако принятая властями организация работ не позволила США достичь желаемого прогресса. Жилищ с повышенным содержанием радона остается еще достаточно много, больше, чем когда-либо прежде. Несмотря на широкое привлечение общественных организаций, многие американцы до

сих пор не убеждены в необходимости рекомендуемых мер по снижению радонового риска [McBurney, 2014].

На основе результатов оценки сложившейся ситуации, в 2011 г. в США был принят Федеральный план действий по радону² [McBurney, 2014], основные мероприятия которого реализуются в рамках концепции «Здоровый дом», положения которой рассматривают снижение радонового риска как ключевую проблему улучшения качества воздуха в помещениях.

Федеральный план действий по радону состоит из набора комплексных межведомственных мероприятий по снижению радонового потенциала, в выполнении которых задействованы представители девяти министерств и ведомств: Министерства сельского хозяйства, Министерства обороны, Министерства энергетики, Агентства по охране окружающей среды, Министерства здравоохранения и социального обеспечения, Министерства внутренних дел, Министерства жилья и градостроительства, Администрации основных служб, Министерства по делам ветеранов.

Федеральный план предусматривает развитие трех главных направлений:

- 1) продемонстрировать важность снижения радонового риска;
- 2) обеспечить стимулы для проведения измерений содержания радона и, при необходимости, радонозащитных мероприятий в жилищах;
- 3) создать спрос на проведение измерений осуществление радонозащитных мероприятий.

За прошедшие с момента утверждения Федерального плана годы принят целый ряд новых документов и программ: требования и стандарты по проведению измерений содержания радона в воздухе помещений и радонозащитных мероприятий для программ страхования многоквартирного ипотечного жилья; многоуровневое руководство для офисов жилищного строительства; общественные информационные программы содействия

² <https://www.epa.gov/radon/national-radon-action-plan-strategy-saving-lives>

уменьшению последствий воздействия радона при новом строительстве. В 27-ми Центрах по контролю болезней (CDC) в пятилетние противораковые планы, финансируемые в настоящее время штатами, включены исследования по оценке радоновых рисков.

Предполагается, что в результате ее выполнения мероприятия по нормализации радоновой обстановки будут проведены в 10 миллионах домов, и вследствие этого сохранено 6,5 тысяч жизней [McBurney, 2014].

В перспективе планируется наладить тесное взаимодействие федеральных органов власти с неправительственными организациями, заинтересованными в решении радоновой проблемы. Для этих целей сформирован Инициативный комитет, в который вошли представители федерального уровня (Агентство по охране окружающей среды, Министерство здравоохранения и социальных служб, Министерство жилья и градостроительства) и неправительственных организаций. Это Американская ассоциация пульмонологов, Американская ассоциация ученых и технологов в области радона, Американское общество инспекторов домов, Институт экологического права, Национальный центр «Здоровый дом». Ведущую роль в продвижении стратегии работ сохраняет Агентство по охране окружающей среды, которое ответственно за написание национального плана и публикацию результатов. Американская ассоциация пульмонологов ответственна за обсуждение актуальных вопросов предлагаемой стратегии, организует рабочие встречи и привлекает для этого созданную совместную группу и новых партнеров.

В качестве примера приоритетов Федерального плана действий по радону можно привести перечень отдельных стратегий, предложенных для будущей реализации. Это деятельность Министерства жилья и градостроительства по совершенствованию требований к жилищам и Агентства по охране окружающей среды в сфере нормотворчества, а также развитие благотворительности, оптимизация условий предоставления

налоговых кредитов для проведения измерений содержания радона и проведения радонозащитных мероприятий и т.п.

Таким образом, в США перспективы развития Федерального плана действий по радону связывают с предоставлением населению доступных услуг при проведении мероприятий по снижению радоновых рисков, совершенствованием нормативной базы по всем аспектам этой проблемы, оптимизацией сфер ответственности между федеральными органами власти и властями штатов. Эти действия построены на широком привлечении общественности и тесном взаимодействии федеральных органов власти с неправительственными организациями на всех этапах реализации плана.

1.3.5. Заключение

Совершенствование регулирования радиационной защиты населения от природных источников облучения является итерационным процессом, развитие которого опирается на накопленный опыт и знания, полученные на предыдущих стадиях. Подводя итог обсуждению вопросов обеспечения радиационной защиты населения от облучения радоном на настоящем этапе ее развития, представляется целесообразным остановиться на основных положениях, которые реализованы в современной практике регулирования.

ПИИИ обуславливают от 70 до 90% дозы за счет всех ионизирующих излучений, воздействующих на население в коммунальных условиях. При этом основная доля дозы облучения населения при воздействии ПИИИ (от 50 до 90%) обусловлена радоном и его ДПР.

Контролируемость облучения радоном лежит в основе регулирования данной ситуации облучения, разработка стратегии и тактики которого является предметом рекомендаций и требований авторитетных международных организаций по радиационной безопасности.

Развитие подходов к регулированию защиты населения от радона связано с накоплением знаний об эффектах облучения этим радиоактивным

газом, полученных в эпидемиологических исследованиях. Исследования, проведенные в Европе, Северной Америке и Китае, позволили впервые получить прямые оценки риска рака легкого при облучении населения радоном в жилищах. Объединенный анализ полученных данных позволил заключить следующее: облучение радоном увеличивает риск заболевания раком легкого для всего населения; доля радон-индуцированных случаев рака легкого в общей структуре данной патологии варьируется в диапазоне от 3% до 14%; большинство радон-индуцированных раков легкого обусловлены скорее пролонгированным воздействием низких и средних концентраций радона, нежели высоких.

Учитывая современные эпидемиологические оценки, международные организации пришли к выводу, что ранее постулируемый подход к регулированию радиационной защиты населения, при котором меры по снижению ОА радона рекомендовались только в случае превышения установленного уровня действия, создавал неверное представление, что воздействие ниже этого уровня является безопасным. Таким образом, современная стратегия регулирования радоновой проблемы ориентирована не только на снижение индивидуальных рисков от радона для наиболее облучаемых лиц, но и направлена на последовательное снижение общего коллективного риска для всего населения.

Базируясь на современной системе радиационной защиты, постулированной в Публикации 103 МКРЗ [Труды МКРЗ, 2009], ключевая роль в регулировании радоновой проблемы отводится применению принципа оптимизации, базирующемуся на установлении референтных уровней ОА радона вместо уровней действия.

Современное виденье проблемы обеспечения защиты населения от радона как проблемы общественного здравоохранения требует комплексного подхода к ее решению. В связи с этим международные организации рекомендуют национальным регулирующим органам разработать систему

мероприятий в рамках долговременных специализированных программ – национальных планов действий.

Россия является одной из первых стран, в которой был апробирован системный подход к решению радоновой проблемы. Одним из важных этапов которого являлось утверждение «Федеральной целевой программы снижения уровней облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994-1996 гг.» (ФЦП «Радон»).

В отличие от большинства национальных программ в зарубежных странах конца XX в., ФЦП «Радон» с самого начала формировалась как комплексная программа. Ее основу составили разработанные на базе программно-целевого планирования мероприятия, а координация межведомственного взаимодействия федеральных и региональных органов власти при их выполнении осуществлялась на государственном уровне.

Разработанные в ходе выполнения ФЦП «Радон» подходы к решению радоновой проблемы постепенно реализуются в отечественной практике регулирования радиационной безопасности при воздействии радона: созданы информационно-аналитические ресурсы (федеральный и ведомственные банки данных), в которых аккумулируются сведения об уровнях радиационного воздействия ПИИИ на население; разработана методология и организован контроль содержания радона в строящихся и эксплуатируемых зданиях.

Вместе с тем, эти результаты следует рассматривать в качестве базовой основы, позволяющей обеспечить комплексный подход к решению радоновой проблемы на основе современных рекомендаций МКРЗ и стандартов безопасности МАГАТЭ. Он заключается в развитии рынка радоновых услуг и образовательного кластера, согласовании с другими национальными проектами (в первую очередь, в сфере здравоохранения и энергосбережения), совершенствовании взаимодействия местных, региональных и федеральных органов власти между собой, а также с

общественными неправительственными организациями. Эта деятельность должна осуществляться при широком информировании населения.

Оптимальная реализация данного комплексного подхода, как показывает отечественный и зарубежный опыт, возможна только при наличии долговременных специализированных программ, принимаемых на федеральном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 1.3

- Алексахин Р.М. 60-я сессия Научного комитета ООН по действию атомной радиации // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т. 53. – №. 6. – С. 654–656.
- Барковский А.Н. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 году: информационный сборник / ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева; А.Н. Барковский, Руслан Р. Ахматдинов, Рустам Р. Ахматдинов, Н.К. Барышков, А.М. Библин, А.А. Братилова, Б.Ф. Воробьев, Т.А. Кормановская, И.К. Романович, Т.Н. Титова; ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; В.Е. Журавлева, А.Г. Сивенков, А.Г. Цовьянов. – СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева. – 2021. – 83 с.
- Барковский А.Н. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2017 г. / А.Н. Барковский, Р.Р. Ахматдинов, Р.Р. Ахматдинов, Н.К. Барышков, А.М. Библин, А.А. Братилова, В.Е. Журавлева, Т.А. Кормановская, С.И. Кувшинников, И.К. Романович, А.Г. Сивенков, О.Е. Тутельян, А.Г. Цовьянов // Радиационная гигиена. – 2018 – Т. 11, № 4 – С. 98–128. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-4-98-128>
- Временные критерии для принятия решения и организации контроля № 43-10/796 от 05.12.1990 г. – М.: Министерство здравоохранения России, 1990. – 18 с.
- Временные методические указания по радиационно-гигиенической оценке полезных ископаемых при производстве геологоразведочных работ на месторождениях строительных материалов. – Казань, 1986. – 50 с.
- Глушинский М.В., Крисюк Э.М. Последствия воздействия на организм радона и продуктов его распада (Аналитическая справка) // АНРИ. – 1996/97. – № 3 (9). – С. 16–24.
- ГН 2.6.1.054-96. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96) (отменены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 02.07.1999 № б/н) : гигиенические нормативы. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. – 64 с.
- Гнеушева Г.И., Малашенко А.В. Профессиональная легочная патология у горнорабочих урановых шахт / под ред. акад. ЛА Ильина. – М.: ООО ПКФ «Аллана», 2007. – 149 с.
- Гнеушева Г.И., Сауров М.М., Свяховская Н.В. Рак легкого у горнорабочих уранового рудника // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2003. – Т. 48, № 6. – С. 18–21.

- Горский Г.А., Стамат И.П. К оценке эффективности предупредительного надзора за обеспечением радиационной безопасности населения при облучении природными источниками ионизирующего излучения // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 1, № 3. – С. 41–44.
- Давыдов А.А., Библин А.М., Кононенко Д.В. Проблемы риск-коммуникации по вопросу облучения радоном: результаты всероссийского социологического исследования // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 3. – С. 29–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.3.03>
- Карпов, В.И. Фотонное излучение естественных радионуклидов / В.И. Карпов, Э.М. Крисюк // Издание НКРЗ 79-14. – 1979. – 18 с.
- Киселев С.М. Эволюция подходов МКРЗ к регулированию защиты населения от радона // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – Т. 61, № 2. – С. 70–74.
- Киселев С.М., Жуковский М.В. Современные подходы к обеспечению защиты населения от радона. Международный опыт регулирования // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 48–55.
- Киселев С.М., Жуковский М.В., Стамат И.П., Ярмошенко И.В. Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2016. – 432 с. – ISBN 978-5-905926-11-2.
- Киселев С.М., Стамат И.П., Маренный А.М., Ильин Л.А. Обеспечение защиты населения от облучения радоном. Проблемы и пути решения // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 2. – С. 101–110. – <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-2-101-110>
- Кононенко Д.В. Анализ возможностей и путей повышения заинтересованности населения в обеспечении собственной радиационной безопасности при облучении радоном // Сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена: Итоги и перспективы», посвященной 60-летию курса «Радиационная гигиена» кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, 18 мая 2022 г.). – СПб.: ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, 2022. – С. 55–57. – ISBN 978-5-89588-403-4.
- Кононенко Д.В., Кормановская Т.А. Оценка доз облучения населения субъектов Российской Федерации за счет космического излучения // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 78–83. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83>
- Королева Н.А., Стамат И.П., Терентьев М.В. Аппаратурно-методические разработки и метрологическое обеспечение средств измерений объемной

- активности радона и дочерних продуктов распада в воздухе помещений // Радиационная гигиена: Сб. науч. трудов. – СПб.: ФГУН НИИРГ имени профессора П.В. Рамзаева, 2006. – С. 52–60.
- Королева Н.А., Стамат И.П., Терентьев М.В., Терентьев Р.П. Уровни облучения природными источниками излучения работников подземных предприятий неурановой промышленности // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1, № 4. – С. 26–30.
- Крисюк Э.М. Организация и проведение выборочного обследования уровней облучения населения за счет радона в жилых домах // АНРИ. – 1996/97. – №. 3 (9). – С. 25–30.
- Крисюк Э.М. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в материалах // АНРИ. – 2001. – № 4 (27). – С. 4–8.
- Максимовский В. А., Харламов М.Г., Мальцев А.В., Лучин И.А., Смыслов А.А. Районирование территории России по степени радоноопасности // АНРИ. – 1996/97. – № 3 (9). – С. 66–73.
- Маренный А.М. Методические аспекты измерений средней объемной активности радона в помещениях интегральным трековым методом // АНРИ. – 2012. – № 4 (71). – С. 13–19.
- Маренный А.М. Проблема облучения населения от природных источников ионизирующих излучений // Ядерная и радиационная безопасность России. – 2002. – Вып. 2 (5). – С. 36–63.
- Маренный А. М., Киселёв С. М., Семёнов С. Ю. О проблеме обеспечения защиты населения России от природных источников ионизирующего излучения. Часть 2. Развитие подходов и практические мероприятия // Медицина экстремальных ситуаций. – 2019. – Т. 21, №. 4. – С. 527–539.
- Маренный А.М., Савкин М.Н., Шинкарев С.М. Оценка облучения населения России радоном (метод и результаты) // Медицинская радиология и медицинская безопасность. – 1999. – Т. 44, № 6. – С. 37–43.
- Маркелов Д.А., Григорьева М.А., Польшова О.Е. и др. Природный радиационный фон. – М.: Папирус ПРО, 2001. – 43 с. – ISBN 5-901054-10-5.
- МВИ 2.6.1.003-99. Радон. Измерение объемной активности интегральным трековым методом в производственных, жилых и общественных помещениях. Аттестована ЦМИИ ГП «ВНИИФТРИ» Госстандарта РФ, свидетельство № 45090.84769 от 08.12.1998.
- МУ 2.6.1.2838-11. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности :

- методические указания. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 26 с.
- МУ 2.6.1.715-98. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий : методические указания. – СПб., 1998. – 29 с.
- Невзгодина Л.В., Григорьев Ю.Г., Маренный А.М. Действие тяжелых ионов на биологические объекты. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 216 с.
- Нормы безопасности МАГАТЭ. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности, часть 3 (№ GSR Part 3). – Вена: Международное агентство по атомной энергии, 2015. – 477 с. – ISBN 978-92-0-409915-7.
- Онищенко Г.Г. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации по результатам радиационно-гигиенической паспортизации в 2007 г // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 1, №. 4. – С. 4–9.
- Пенезев А.В., Астафуров В.И., Верещагин О.А., Ерина Т.А., Маренный А.М., Щеглов Р.А. База данных результатов измерений радона и возможности графических программ для их анализа // Актуальные вопросы радиационной гигиены : сборник тезисов научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 7-9 июня 2010 г. – СПб, 2010. – С. 112–113.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 06.07.1994 № 809 «О федеральной целевой программе снижения уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994-1996 годы».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 28.01.1997 № 93 (ред. от 10.07.2014) «О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 16.06.1997 № 718 (ред. от 05.06.2013) «О порядке создания единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД)».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 02.02.2006 № 60 «Об утверждении Положения о проведении социально-гигиенического мониторинга» (ред. от 25.05.2017).
- Публикация 24 МКРЗ. Радиационная защита на урановых и других рудниках / пер. с англ. Е.А. Гутман ; под ред. и с коммент. А.А. Моисеева, И.Л. Шалаева. – М.: Атомиздат, 1979. – 79 с.

- Публикация 32 МКРЗ. Пределы ингаляционного поступления дочерних продуктов радона для профессиональных работников / пер. с англ. ; под ред. чл. МКРЗ к.т.н. А.А. Моисеева. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 40 с.
- Публикация 47 МКРЗ. Радиационная защита работающих в рудниках : Доклад Комитета 4 Международной комиссии по радиологической защите / пер. с англ. и под ред. А.А. Моисеева. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 36 с. – ISBN 5-283-02966-2.
- Публикация 50 МКРЗ. Риск заболевания раком легких в связи с облучением дочерними продуктами распада радона внутри помещений / пер. с англ. Л.В. Коломиец ; под ред. чл. МКРЗ д.ф.-м.н. проф. И.А. Лихтарева. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 112 с. – ISBN 5-283-03120-9.
- Публикация 60 МКРЗ, часть 1, 61 МКРЗ. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года / пер. с англ. Т.Д. Кузьминой ; под ред. И.Б. Кеирим-Маркуса. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 192 с. – ISBN 5-283-031-61-6.
- Публикация 60 МКРЗ, часть 2. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года / пер. с англ. Т.Д. Кузьминой ; под ред. И.Б. Кеирим-Маркуса. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 208 с. – ISBN 5-283-031-62-4.
- Публикация 65 МКРЗ. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. / пер. с англ. М.В. Жуковского ; под ред. А.В. Кружалова. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.
- Романович И.К. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева ; Романович И.К., Стамат И.П., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. [и др.] ; под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. – СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. – 432 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-9906975-7-7.
- СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) : санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
- СанПиН 2.6.1.2800-10. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения: санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 40 с.
- Соловьев М.Ю., Калинина М.В., Стамат И.П. Содержание радона в воздухе вновь построенных и эксплуатируемых зданий в Ростовской области // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 3, №. 2. – С. 62–66.

- СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) : санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.
- СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ : свод правил. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2021. – 141 с.
- Стамат И.П., Романович И.К. Требования по ограничению облучения населения природными источниками излучения в производственных условиях // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 10–14.
- Тарасов С.И., Крисюк Э.М., Попов Д.К. Исследование и гигиеническая оценка уровней радиационного воздействия на население РСФСР естественных радионуклидов и космического излучения (заключительный отчет). – Л., 1980. – 346 с.
- Труды МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ / пер. с англ. И.А. Гусева ; под общ. ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с. – ISBN 978-5-9900350-6-5.
- Труды МКРЗ. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону. Перевод публикации 115 МКРЗ / под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселева, А.Т. Губина. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2013. – 92 с. – ISBN 978-5-905926-01-3.
- Труды МКРЗ. Радиологическая защита от облучения радоном. Перевод публикации 126 МКРЗ / под ред. М.В. Жуковского, И.В. Ярмошенко, С.М. Киселева. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2015. – 88 с. – ISBN 978-5-9035926-06-8.
- Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (ред. от 11.06.2021).
- Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (ред. от 04.11.2022).
- Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» (ред. от 04.11.2022).
- Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (ред. от 02.07.2013).
- Шалаев И.Л., Глушинский М.В. Количественные показатели смертности горняков уранового рудника и уровни их облучения короткоживущими продуктами распада радона // Бюлл. рад. мед. – 1986. – № 1. – С. 90–96.

- Шалаев И.Л., Глушинский М.В., Тхостов Д.Р., Токарев Н.М. Смертность от рака легких среди работающих на урановых рудниках и гидрометаллургических заводах // Бюлл. рад. мед. – 1988. – № 1. – С. 52–56.
- Шафир А.И., Бондарева Е.Н., Вайнштейн П.Р., и др. Естественный радиоактивный фон обитаемых помещений (в гигиеническом аспекте) // Труды по радиационной гигиене. Выпуск второй / под ред. Н.Ф. Галанина. – Л.: Медицина, 1964. – С. 61–63.
- Шишкин В.И. Статистические данные о раке легкого у шахтеров одного из урановых рудников // Бюлл. рад. мед. – 1974. – № 4. – С. 82–89.
- Якоби В. История проблемы радона в шахтах и домах // Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ / пер. с англ. М.В. Жуковского ; под ред. А.В. Кружалова. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – С. 39–45.
- Åkerblom G., Lindgren J. Mapping of Ground Water Radon Potential // Uranium exploration data and techniques applied to the preparation of radioelement maps. Proceedings of a Technical Committee meeting held in Vienna, 1996 May 13-17. IAEA-TECDOC-980.
- Åkerblom G. The use of airborne radiometric and exploration survey data and techniques in radon risk mapping in Sweden // Application of uranium exploration data and techniques in environmental studies. Proceedings of a Technical Committee meeting held in Vienna, 1993 November 9-12. IAEA-TECDOC-827. – P. 159–158.
- Åkerblom G., Pettersson B., Rosen B. Handbook on Investigation of the Radon Situation in Areas before Building. The Swedish Council for Building Research and the Swedish National Board for Physical Planning and Building, Report R88, 1990. – ISBN 91-540-4937-7.
- Auvinen A., Mäkeläinen I., Hakama M., Castrén O., Pukkala E., Reisbacka H., Rytömaa T. Indoor radon exposure and risk of lung cancer: A nested case-control study in Finland // Journal of the National Cancer Institute. – 1996. – Vol. 88, nr 14. – P. 966–972. <https://doi.org/10.1093/jnci/88.14.966>
- Barros-Dios J.M., Barreiro M.A., Ruano-Ravina A., Figueiras A. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: a population-based case-control study // American Journal of Epidemiology. – 2002. – Vol. 156, nr 6. – P. 548–555. <https://doi.org/10.1093/aje/kwf070>
- Baysson H., Tirmarche M., Tymen G., Gouva S., Caillaud D., Artus J.-C., Vergnenegre A., Ducloy F., Laurier D. Indoor radon and lung cancer in France // Epidemiology. – 2004. – Vol. 15, nr 6. – P. 709–716. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000142150.60556.b8>
- Blot W.J., Xu Z.Y., Boice Jr. J.D., Zhao D.Z., Stone B.J., Sun J., Jing L.B., Fraumeni Jr. J.F. Indoor radon and lung cancer in China // Journal of the

- National Cancer Institute. – 1990. – Vol. 82, nr 12. – P. 1025–1030.
<https://doi.org/10.1093/jnci/82.12.1025>
- Bochicchio F., Fenton D., Fonseca H., García-Talavera M., Jaunet P., Long S., Olsen B., Mrdakovic Popic J., Ringer W. National Radon Action Plans in Europe and Need of Effectiveness Indicators: An Overview of HERCA Activities // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19, nr 7. – P. 4114.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19074114>
- Castrén O., Arvela H., Mäkeläinen I., Voutilainen A. Indoor radon survey in Finland: Methodology and applications // *Radiation Protection Dosimetry*. – 1992. – Vol. 45, nr 1-4. – P. 413–418. <https://doi.org/10.1093/rpd/45.1-4.413>
- Code J., Dechaux E. The French National Action Plan 2011-2015 for the management of radon-related risks // Radon workshop HERCA-ASN-NRPA, 30 September – 2 October 2014, Paris, France.
- Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom // *Official Journal of the European Union*. – Vol. 57, L 13, 7.11.2013. – 73 p.
- Darby S., Hill D., Deo H., Auvinen A., Barros-Dios J.M., Baysson H., et al. Residential radon and lung cancer – detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe // *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*. – 2006. – Vol. 32, suppl 1. – P. 1–83.
- Darby S., Whitley E., Silcocks P., Thakrar B., Green M., Lomas P., Miles J., Reeves G., Fearn T., Doll R. Risk of lung cancer associated with residential radon exposure in south-west England: a case-control study // *British Journal of Cancer*. – 1998. – Vol. 78, nr 3. – P. 394–408.
<https://doi.org/10.1038/bjc.1998.506>
- De Cort M., Gruber V., Tollefsen T., Bossew P., Janssens A. Towards a European Atlas of natural radiation: goal, status and future perspectives // *Radioprotection*. – 2011. – Vol. 46, nr 6. – S737–S743.
<https://doi.org/10.1051/radiopro/20116871s>
- EPA Map of Radon Zones. – URL: <https://www.epa.gov/radon/epa-map-radon-zones>
- Fennell S.G., Mackin G.M., Madden J.S., McGarry A.T., Duffy J.T., O’Colmáin M., Colgan P.A., Pollard D. Radon in dwellings. The Irish National Radon Survey. Report RPII-02/1. – Radiological Protection Institute of Ireland, 2002. – 41 p.

- Fenton D. Development of the Irish Radon Control Strategy // Radon workshop HERCA-ASN-NRPA, 30 September – 2 October 2014, Paris, France.
- Dubois G. An overview of radon surveys in Europe. Report EUR 21892 EN. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2005 – 168 p. – ISBN 92-79-01066-2.
- Hůlka J., Thomas J. National radon programme: 20 years of experience in Czech Republic // 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, 23-28 May 2004, Madrid, Spain.
- IAEA SSG-32. Protection of the public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation. IAEA Safety Standards Series No. SSG-32. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015. – 90 p. – ISBN 978-92-0-102514-2.
- IAEA/AQ/33. National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings. Review of Methodology and Measurement Techniques. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 33. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2013. – 35 p.
- ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). – 2007. – 332 p. – ISBN 978-0-7020-3048-2.
- ICRP. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40 (1). – 2010. – 64 p. – ISBN 978-0-7020-4977-4.
- ICRP. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43 (3). – 2014. – 73 p. – ISBN 978-0-7020-5505-8.
- ICRP. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46 (3/4). – 2017. – 486 p. – ISBN 978-1-5264-4016-7.
- Kreienbrock L., Kreuzer M., Gerken M., Dingerkus G., Wellmann J., Keller G., Wichmann H.E. Case-control study on lung cancer and residential radon in western Germany // American Journal of Epidemiology. – 2001. – Vol. 153, nr 1. – P. 42–52. <https://doi.org/10.1093/aje/153.1.42>
- Kreuzer M., Heinrich J., Wolke G., Schaffrath Rosario A., Gerken M., Wellmann J., Keller G., Kreienbrock L., Wichmann H-E. Residential radon and risk of lung cancer in eastern Germany // Epidemiology. – 2003. – Vol. 14, nr 5. – P. 559–568. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000071410.26053.c4>
- Krewski D., Lubin J.H., Zielinski J.M., Alavanja M., Catalan V.S., Field R.W., Klotz J.B., Létourneau E.G., Lynch C.F., Lyon J.L., Sandler D.P., Schoenberg J.B., Steck D.J., Stolwijk J.A., Weinberg C., Wilcox H.B. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. – 2006. – Vol. 69, nr 7. – P. 533–597. – <https://doi.org/10.1080/15287390500260945>

- Kurttio P. Radon exposure in Finland // ASN-NRPA Workshop, 14 October, 2014, Paris, France. – URL: <https://www.french-nuclear-safety.fr/Media/Files/00-Radon-workshop/STUK-Radiation-and-Nuclear-Safety-Authority-Radon-exposure-in-Finland>
- Létourneau E.G., Krewski D., Choi N.W., Goddard M.J. McGregor R.G., Zielinski J. M., Du J. Case-control study of residential radon and lung cancer in Winnipeg, Manitoba, Canada // American Journal of Epidemiology. – 1994. – Vol. 140, nr 4. – P. 310–322. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a117253>
- Long B. US Federal Radon Action Plan // Radon workshop HERCA-ASN-NRPA, 30 September – 2 October 2014, Paris, France.
- Lubin J.H., Wang Z.Y., Boice J.D., Xu Z.Y., Blot W.J., De Wang L., Kleinerman R.A. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies // International Journal of Cancer. – 2004. – Vol. 109, nr 1. – P. 132–137. <https://doi.org/10.1002/ijc.11683>
- Mäkeläinen I., Valmari T., Reisbacka H., Kinnunen T., Arvela H. Indoor radon and construction practices in Finnish homes from the 20th to the 21st century // Third European IRPA Congress, 14-18 June 2010, Helsinki, Finland. – URL: <http://www.irpa2010europe.com/pdfs/proceedings/S03-P03.pdf>
- McBurney R. How the U.S. Developed a National Radon Action Plan: Lesson Learned and Ideas to Consider (State and NGO Activities) // Radon workshop HERCA-ASN-NRPA, 30 September – 2 October 2014, Paris, France.
- Pershagen G., Åkerblom G., Axelson O., Clavensjö B., Damber L., Desai G., Enflo A., Lagarde F., Mellander H., Svartengren M., Swedjemark G.A. Residential radon exposure and lung cancer in Sweden // New England Journal of Medicine. – 1994. – Vol. 330, nr 3. – P. 159–164. <https://doi.org/10.1056/NEJM199401203300302>
- Petrová K., Pravdová E. Radon program of the Czech Republic // Radiation Protection Dosimetry. – 2014. – Vol. 160, nr 1-3. – P. 27–29. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncu113>
- Pisa F.E., Barbone F., Betta A., Bonomi M., Alessandrini B., Bovenzi M. Residential radon and risk of lung cancer in an Italian alpine area // Archives of Environmental Health. – 2001. – Vol. 56, nr 3. – P. 208–215. <https://doi.org/10.1080/00039890109604444>
- Schoenberg J. B., Klotz J. B., Wilcox H. B. et al. Case-control study of residential radon and lung cancer among New Jersey women // Cancer research. – 1990. – Vol. 50, № 20. – P. 6520-6524.
- Skeppström K. Existing strategy and challenges for a national action plan for radon in Sweden // ASN-NRPA Workshop, 14 October, 2014, Paris, France.

- Standring W., Hassfjell C., Seyersted M., Olsen B., Rudjord A.L., Strand P. Norway's new national radon strategy // Third European IRPA Congress, 14-18 June 2010, Helsinki, Finland. – URL: <http://www.irpa2010europe.com/pdfs/proceedings/S03-P03.pdf>
- Strand T., Jensen C.L., Ramberg G.B., Ruden L., Ånestad K. Mapping of radon concentration in 44 Norwegian municipalities. Short presentation of the result. StrålevernRapport 2003:09. – Østerås, Norway: Norwegian Radiation Protection Authority, 2003. – 10 p. (in Norwegian) – URL: <https://dsa.no/publikasjoner/stralevernrapport-9-2003-kartlegging-av-radon-i-44-kommuner-2003/straalevernrapport-2003-9-kartlegging-radon-kommuner-2003.pdf>
- Strand T., Ånestad K., Ruden L., Ramberg G.B., Jensen C.L., Wiig A.H., Thommesen G. Indoor radon survey in 114 municipalities. Short presentation of results. StrålevernRapport 2001:6. – Østerås, Norway: Norwegian Radiation Protection Authority, 2001. – 14 p. (in Norwegian) – URL: <https://dsa.no/publikasjoner/stralevernrapport-6-2001-kartlegging-av-radon-i-114-kommuner/straalevernrapport-2001-6-kartlegging-av-radon-i-114-kommuner.pdf>
- Strategy for the reduction of radon exposure in Norway. – Oslo, Norway: Norwegian Government Administration Services, 2010. – 13 p. – URL: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:43119136
- Tollefsen T., Cinelli G., Bossew P., Gruber V., De Cort M. From the European Indoor Radon Map Towards an Atlas of Natural Radiation // Radiation Protection Dosimetry. – 2014. – Vol. 162, nr 1-2. – P. 129–134. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncu244>
- Tomásek L., Müller T., Kunz E., Heribanová A., Matzner J., Placek V., Burian I., Holecek J. Study of lung cancer and residential radon in the Czech Republic // Central European Journal of Public Health. – 2001. – Vol. 9, nr 3. – P. 150–153.
- UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex A: Exposures from natural sources of radiation. – New York: United Nations, 1993. – 59 p. – ISBN 92-1-142200-0.
- UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. Annex B: Exposures from natural radiation sources. – New York: United Nations, 2000. – 76 p. – ISBN 92-1-142238-8.
- UNSCEAR. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II: Scientific Annexes C, D and E. Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in homes and

- workplaces. – New York: United Nations, 2009. – 142 p. – ISBN 978-92-1-142270-2.
- UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. Annex B: Exposures of the public and workers from various sources of radiation. – New York: United Nations, 2010. – 249 p. – ISBN 978-92-1-142274-0.
- UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2012 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Annex B: Uncertainties in risk estimates for radiation-induced cancer. – New York: United Nations, 2015. – 190 p. – ISBN 978-92-1-142307-5.
- UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I: Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. – New York: United Nations, 2014. – 17 p. – ISBN 978-92-1-142291-7.
- UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2019 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Annex B: Lung cancer from exposure to radon. – New York: United Nations, 2020. – 98 p. – ISBN: 978-92-1-139184-8.
- UNSCEAR briefing note. Effects of exposure to radon gas. – New York: United Nations, 2009.
- Valmari T., Mäkeläinen I., Arvela H. et al. National measurement database in radon research in Finland // Third European IRPA Congress, 2010 June 14-18, Helsinki, Finland. – Helsinki: Nordic Society for Radiation Protection, 2010a. – 71 p.
- Valmari T., Mäkeläinen I., Reisbacka H., Arvela H. Radon Atlas of Finland 2010. STUK-A245 / ELOKUU 2010. – Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority, 2010b. – 135 p. – URL: <https://www.julkari.fi/handle/10024/124319>
- Wang Z., Lubin J.H., Wang L., Zhang S., Boice Jr J.D., Cui H., Zhang S., Conrath S., Xia Y., Shang B., Brenner A., Lei S., Metayer C., Cao J., Chen K.W., Lei S., Kleinerman R.A. Residential radon and lung cancer risk in a high-exposure area of Gansu Province, China // American Journal of Epidemiology. – 2002. – Vol. 155, nr 6. – P. 554-564. <https://doi.org/10.1093/aje/155.6.554>
- WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. – Geneva: WHO Press, 2009 – 110 p. – ISBN 978-92-4-154767-3.
- WHO. Indoor air quality research: Report on a WHO meeting, 27-31 August 1984, Stockholm. – Copenhagen: World Health Organization, 1986.

Zielinski J., Carr Z., Krewski D., Repacholi M. World Health Organization's International Radon Project // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. – 2006. – Vol. 69, nr 7-8. – P. 759–769.
<https://doi.org/10.1080/15287390500261299>