

ФГУП НИИ ПММ: эволюция приборов для контроля радона и его ДПР

Организация и проведение мероприятий по снижению доз облучения персонала предприятий, осуществляющих добычу и переработку ураносодержащих руд, а также населения территорий, прилегающих к урановым месторождениям, требуют повышения точности оценок поглощенной и эффективной доз облучения персонала предприятий и населения при ингаляции радона и его дочерних продуктов. Это может быть осуществлено только путем учета вклада неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов распада радона в эффективную и поглощенную дозы облучения, оценка которых выполнена на основании результатов прямых измерений. Для этих целей в ФГУП НИИ ПММ был разработан альфа-спектрометр САТ-03 – средство измерений третьего поколения. Широко распространенные отечественные радиометры предыдущего поколения (РАА-10, РРА-01М) не обладают техническими возможностями для выполнения подобных исследований.

Ключевые слова:

альфа-спектрометр, радиометр, радон, объемная активность радона, эквивалентная равновесная объемная активность радона, неприсоединенная к аэрозолям фракция дочерних продуктов распада радона, эффективная доза облучения, поглощенная доза облучения.

И.В.Шкрабо, А.В.Гусев

(Федеральное государственное унитарное предприятие научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, г. Санкт-Петербург)

Начало работ в области создания приборов для контроля радиационной обстановки на объектах, эксплуатация которых сопряжена с повышенным уровнем выделения радона, в стенах Федерального государственного унитарного предприятия научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины (ФГУП НИИ ПММ) восходит к концу 1980-х гг.

Период с 1970 по 1990 гг. был связан преимущественно с разработкой системы обеспечения радиационной безопасности персонала уранодобывающих предприятий, оценкой влияния внедрения новых технологий добычи урана, созданием санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятий и вопросами рекультивации земель. К данному периоду относится начало исследований, целью которых было установление причинно-следственных связей между профессиональной заболеваемостью персонала урановых производств и воздействием радона и его дочерних продуктов. Проблема обеспечения радиационной безопас-

ности персонала и населения в период становления предприятий по добыче и первичной переработке урановых руд решалась путем внедрения мероприятий, которые были результатом разработки новых научно-методических документов, установлением СЗЗ промышленных объектов, выпуском и внедрением нормативных документов.

В этот период взаимосвязь между состоянием воздушной среды рабочей зоны предприятия и заболеваемостью персонала оценивалась на основании данных о превышении гигиенических нормативов загрязнения воздуха рабочей зоны радоном и его дочерними продуктами, полученных в результате выполнения измерений только объемной активности (ОА) радона. Дальнейшими исследованиями было установлено наличие неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов распада радона, вклад которой в поглощенную и эффективную дозы облучения персонала предприятий и населения при ингаляции радона и его дочерних продуктов никак не учитывался. Поэтому возникла потребность в специализированных средствах измерений (СИ) для решения новых задач. Используя ранее созданные путем модернизации приборов

общего назначения, не обеспечивали должного качества исследований и возможности дозиметрии радона и торона, поступающих в организм работников предприятий ингаляционным путем.

Приборы РГГ-02Т и РГА-02Т – комплекс средств измерений второго поколения

С целью повышения качества и достоверности оценок объемной активности радона и его дочерних продуктов в 1990-х гг. в лаборатории кандидата технических наук Ф.И.Зуевича были разработаны и изготовлены в мастерских института радиометр аэрозолей РГА-01Т и радиометр радона сорбционного типа РГГ-01Т (рис.1). Первоначально приборы разрабатывали для обследования промышленных объектов. Они были удобными для

транспортировки и предназначались для исследований объектов с повышенными уровнями выделения радона (шахты, обогатительные фабрики).

В этот период времени возникла острая необходимость выполнения оценок радиационной обстановки в местах проживания населения и на участках территорий, выделяемых под строительство, а также обеспечения строительства радиационно-безопасных зданий, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям по радиационным показателям [1]. В связи с выходом нормативных документов в рамках государственной программы «Радон» потребовалось укрепить научно-методическую базу для выполнения широкомасштабных исследований радиационной обстановки в населенных пунктах, поскольку в общей

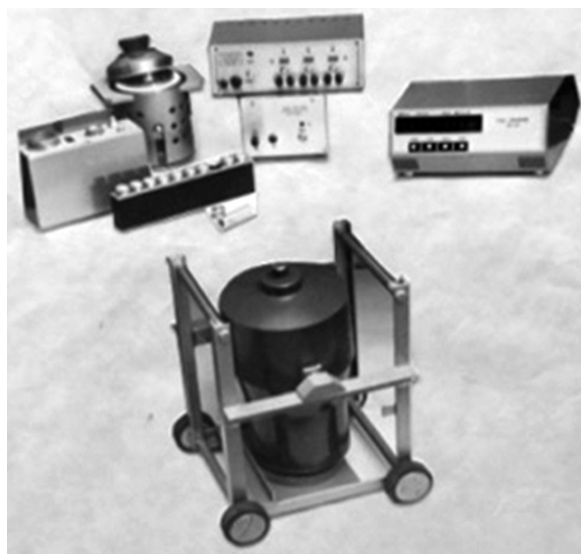


Рис.1. Комплект многофункционального радиометра радона РГГ-01Т.

структуре эффективной дозы облучения населения России доза облучения от радона и его дочерних продуктов составляет 61%.

Логическим продолжением этих исследований стала разработка в 1995–1997 гг. сцинтилляционных радиометров РГГ-02Т и РГА-02Т (рис.2) с расширенным диапазоном измерений:

- ОА и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона и торона, включая низкие уровни, характерные для большинства строений;
- плотности потока радона с поверхности грунтов и строительных конструкций, а также для измерений удельной активности радона и радия в воде.

Фактически, на базе РГГ-02Т и РГА-02Т был создан комплекс средств измерений, предназначенный для решения всех задач радиационного контроля на перечисленных выше объектах, имеющий хорошие метрологические характеристики и не

потерявший актуальности до настоящего времени.

Чуть ранее был поставлен вопрос о необходимости проведения оценки доли свободных атомов, представляющих ультрадисперсную составляющую неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов радона, с целью вычисления дозы облучения персонала и населения. Для этого были разработаны и изготовлены опытные образцы диффузионных батарей пластинчатого типа (рис.3), испытание которых было проведено на подконтрольном ФМБА промышленном объекте и в жилом секторе г. Силламяэ Эстонской ССР (1989–1991 гг.).

После значительного перерыва в исследованиях взамен диффузионных батарей были разработаны и апробированы более компактные диффузионные фильтры сеточного типа [2]. В разные годы в научных исследованиях на объектах и территориях, обслуживаемых ФМБА России, в г. Сосновый Бор (2001 г.),

Снежногорск и Северодвинск (2002 г.), Лермонтов (2004–2007 гг.) применяли комбинированные блоки диффузионных и аэрозольных фильтров (рис.4).

Рассмотренные выше приборы и комплектующее оборудование относятся к средствам измерений 2-го поколения, позволившим обеспечить не только высокое качество радиационных измерений, но и расширить круг решаемых задач и наметить новые направления для их решения.

Силами лаборатории были проведены одновременные измерения уровней ОА и ЭРОА радона в различных строениях и площадные исследования уровней ОА радона в воздухе грунтов в пределах селитебных зон таких городов, как Приозерск и Сосновый Бор в Ленинградской области, Полярные Зори и Снежногорск в Мурманской области, Северодвинск в Архангельской области, Петрозаводск в республике Карелия и Кирово-Чепецк в Пермской области [3]. На этом этапе работ были проведены рекогносцировочные исследования доли неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов радона, ставшие продолжением ранее прерванных работ в г. Силламяэ Эстонской ССР. Были получены первые дан-

Рис.2.
Сцинтилляционный радиометр РГА-02Т.





Рис.3. Устройство отбора проб ВПИМ-10, -12 и диффузионная батарея пластинчатого типа.

ные о доле неприсоединенной к аэрозолям фракции в ЭРОА радона, которая превышала норматив в НРБ 99/2009 в 4–5 раз.

В 2010–2011 гг. были доработаны, аттестованы и зарегистрированы в Федеральном информационном фонде методические документы, призванные обеспечить единство измерений:

- МВИ ФР.1.38.2011.10025. Методика измерений объемной активности радона-222, его дочерних продуктов

распада (полония-218, свинца-214, висмута-214) и эквивалентной равновесной объемной активности радона-222, радона-220 в воздухе помещений различного назначения. Свидетельство об аттестации № 97/210-(01.00250-2008)-2011;

- МВИ ФР.1.38.2011.10024. Методика измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона-222 и радона-220 (торона) и ее составляющей, обусловленной неприсоеди-

ненной фракцией дочерних продуктов распада в воздухе помещений различного назначения. Свидетельство об аттестации № 100/210-(01.00250-2008)-2011;

- МВИ ФР.1.38.2011.10026. Методика измерений плотности потока радона-222 с различных поверхностей. Свидетельство об аттестации № 99/210-(01.00250-2008)-2011;
- МВИ ФР.1.38.2011.10023. Методика измерений объемной активности радона-222 в почвенном воздухе. Свидетельство об аттестации № 98/210-(01.00250-2008)-2011;
- МВИ ФР.1.38.2011.10022. Методика измерений удельной активности радона-222 и радия-226 в воде. Свидетельство об аттестации № 96/210-(01.00250-2008)-2011.

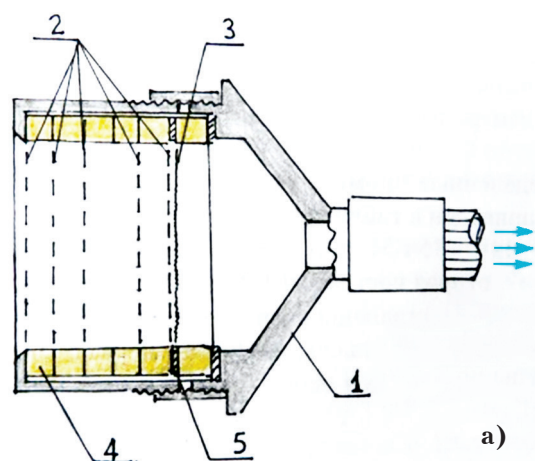


Рис.4. Комбинированный блок диффузионных и аэрозольных фильтров к радиометрам РГА-01Т и РГА-02Т. а) схема комбинированного блока б) внешний вид составляющих комбинированного блока. 1 – корпус; 2 – система сеточных фильтров; 3 – аэрозольный фильтр; 4 – прокладка; 5 – тонкая прокладка.

По совокупности научных исследований, выполненных в этот период, была написана монография [4], в которой обобщены материалы исследований о влиянии радона на состояние здоровья населения.

Альфа-спектрометр САТ-03 – средство измерений третьего поколения

Возвращаясь к вопросу разработки средств измерений, необходимо отметить, что результаты применения комбинированного блока и аэрозольных фильтров к радиометрам РГА-01Т и РГА-02Т показали необходимость разработки третьего поколения радиометров спектрометрического типа непосредственно для оценок поглощенной и эффективной доз облучения населения и персонала. Работа в этом направлении началась в 2008 г.

Интенсивные исследования неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов радона (ДПР), фракционного состава частиц воздушной среды и разработка дозовых моделей облучения персонала и населения в промышленно развитых странах (США, Великобритания, Франция, Германия и др.) начались в конце 1980-х гг. К 2010 г. тенденции в рассматриваемой области уже вполне сформировались.

Принятая система оценок по уровням ЭРОА радона и торона может рассматриваться только как поисковый метод для последующего выбора объектов применения оценок по дозе облучения. Разработанные методические документы по оценке эффективной дозы на основании рекомендации НКДАР ООН 2000 г. также являются несовершенными, т. к. существенно занижают оценку дозы облучения [5] и основаны на измерениях ОА радона, а не на нормируемых уровнях ЭРОА радона.

В настоящее время вместо методов оценки по уровню радона наметилась тенденция к внедрению нового перспективного направления – оценки эффективной дозы облучения персонала и населения с учетом неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов радона при их ингаляционном поступлении [6,7]. Это направление является приоритетным в области оценки поглощенной и эффективной доз облучения персонала предприятий и населения при ингаляции радона и его дочерних продуктов.

В 2007 г. в результате неоднократных доработок была создана наиболее совершенная дозовая модель BEIR VI. Данная модель позволяет проводить оценку погло-

щенной и эффективной доз облучения. В основе модели лежит допущение о линейной передаче энергии альфа-излучения ДПР бронхиальной (ВВ) и бронхиолярной (bb) областям респираторной системы. Также учитывается дисперсный состав взвешенных частиц в воздушной среде. Следует отметить, что конверсионные коэффициенты в данной модели практически в два раза превышают коэффициенты, рекомендованные НКДАР ООН в 2000 г.

Внедрение в практику радиационного контроля дозовой модели облучения обозначило необходимость:

- разработки специализированных методик выполнения измерений и расчетов;
- разработки специализированного средства измерений ЭРОА радона и неприсоединенной к аэрозолям фракции его дочерних продуктов;
- решения вопроса оценки годовой экспозиции по активности для расчета эффективной дозы облучения населения с учетом изменений поступления радона в строения, вызванных вариациями плотности потока радона.

В 2009 г. в институте принято решение о применении наиболее совершенной дозовой модели – BEIR VI

для последующей разработки методических рекомендаций (Методические рекомендации МР 06.043-2016. Расчет суммарной эффективной дозы облучения населения радоноопасных территорий с учетом неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов радона и торона).

Для инструментального обеспечения методики выполнения расчетов была начата разработка специализированного средства измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона и неприсоединенной фракции его дочерних продуктов. В результате в 2013 г. был сконструирован и изготовлен на производственной базе ОАО «Неос» опытный образец радиометра эквивалентной равновесной объемной активности радона и неприсоединенной фракции его дочерних продуктов Альфа-спектрометр САТ-03 (рис.5). Радиометр прошел государственные испытания и утвержден в качестве типа средств измерений (Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.38.541.A № 63551).

Радиометр имеет три режима измерений: автоматический, мониторинга и ручной. Может работать с одним или одновременно с двумя измерительными каналами, проводить измере-



Рис.5.
Радиометр эквивалентной равновесной объемной активности радона «Альфа-спектрометр САТ-03».

ния для экспрессной оценки эффективной дозы облучения или производить более полное изучение дисперсного распределения активности в области неприсоединенной фракции путем серии измерений. Суточный мониторинг ЭРОА радона и его дочерних продуктов радиометр выполняет только в автоматическом режиме дискретно через 4 часа. В ручном режиме он может производить отбор проб воздуха или измерения фильтров, либо, при заданных временах отбора проб и измерений производить обе эти операции одновременно. В ручном режиме и при мониторинге обработка результатов измерений выполняется вручную или на компьютере. В частности, могут быть получены результаты измерений по методу Кузнеця или трехинтервальному временному методу Томаса. Во всех режимах работы результаты измерений в виде спектра сохраняются на карте памяти.

Полная информация об измеренных уровнях ОА радона, его ЭРОА и доли неприсоединенной фракции выводится на дисплей радиометра. Динамическая характеристика блоков отбора проб позволяет определять эффективность улавливания аэрозолей фильтром типа АФА-РСР-10 [8], что может повысить точность измерений.

Заключение

Говоря о современных тенденциях в области дозиметрического контроля профессионального внутреннего облучения, необходимо отметить большую практическую значимость оценки эффективной дозы облучения персонала, работающего в наземных комплексах производственных сооружений, источником которого является радон и дочерние продукты его распада. Во многих помещениях наземного комплекса предприятий запыленность и химическое загрязнение воздушной среды

не отличаются от жилых помещений, в которых уровень неприсоединенной фракции дочерних продуктов радона составляет около 20% по ЭРОА радона, что однозначно требует оценки эффективной дозы облучения персонала таких предприятий.

Кроме рассмотренных выше дозовых моделей, в последние годы широко применяют оценку рисков [9]. Причинами этого являются трудоемкость и сложность сбора исходных данных для выполнения оценки эффективной дозы облучения персонала на основании дозовых моделей.

Обобщая результаты работы нашего института по рассматриваемой тематике, в качестве актуальных направлений деятельности, в перспективе необходимо обозначить следующие направления:

- разработка методических рекомендаций по расчету эффективной дозы облучения от ингаляционного поступления радона и его дочерних продуктов для персонала (работников) уранодобывающих предприятий и предприятий по первичной переработке урановых руд;

- формулирование и обоснование требований для разработки стандартных образцов (эталонов) неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов радона. В настоящее время эталоны неприсоединенной фракции ДПР отсутствуют.

Разрабатываемые методики выполнения расчетов должны быть четко ориентированы:

- на контроль доз от ингаляционного поступления радона и его дочерних продуктов;
- на определение среднегодовой экспозиции по активности дочерних продуктов радона с учетом вклада их неприсоединенной к аэрозолям фракции;
- на использование конверсионных коэффициентов. Точность оценки среднегодовой экспозиции по ЭРОА радона применительно к персоналу должна быть 70–80%, для населения – 50–70%.

Стандартные образцы, планируемые к разработке в ходе выполнения задач по совершенствованию контроля доз от ингаляционного поступления радона и его дочерних продуктов, должны обеспе-

чить измерение неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов радона с заданной точностью.

Перспективы развития этого направления отражены в перечне задач в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, обозначенных в проекте Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. (Указ Президента Российской Федерации от 13 октября 2018 г. № 585 «Об утверждении основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу»). В документе отмечена необходимость обеспечения защиты персонала от последствий вредного техногенного воздействия путем разработки комплекса мер по снижению уровней облучения, а также населения, подвергающегося радиационному воздействию за счет природных источников излучения более 5 мЗв/год – в первую очередь от радона и продуктов его распада.

Литература

1. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Карташов Н.П. Определение концентрации свободного RaA (Po-218) в аэродисперсной среде методом диффузионной экстракции на микросетке. Академия наук СССР, Уральский филиал, институт геофизики, 1967. С. 57-66.
3. Зуевич Ф.И., Шкрабо И.В., Лазарев А.В. Оценка допустимых уровней ЭРОА радона с учетом свободных атомов // АНРИ. 2007. № 3(50). С. 41-43.
4. Зуевич Ф.И., Тихонов М.Н., Довгуша Л.В., Матвеев К.М., Шкрабо И.В. Радиационно-гигиенические проблемы влияния радона на состояние здоровья населения. С-Пб.: Полиграф-Ателье, 2011.
5. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
6. Цовьянов А.Г., Крамер-Агеев Е.А., Фертман Д.Е. и др., Моделирование и разработка импактора-фантома респираторного тракта человека // АНРИ. 2013. № 3(74). С. 52-59.
7. Тихонов М.Н., Зуевич Ф.И. Последствия облучения населения радоном. Экология. Медицина. Радиационная безопасность. С-Пб., 2011. С. 268-277.
8. Будыка А.К., Борисов Н.Б. Волокнистые фильтры для контроля загрязнения воздушной среды. М.: ИздАТ, 2008.
9. Жуковский М.В. Расчет радиационных рисков при облучении дочерними продуктами распада радона // АНРИ. 2001. № 1(24). С. 4-12.

FSUE SRI IMM: Evolution of Devices for Radon Control and its DPR

Shkrabo Igor, Gusev Alexander

(Research Institute of Industry and Maritime Medicine of FMBA of Russia, St.-Petersburg, Russia)

Abstract. Preparation and implementation of measures to reduce radiation doses to personnel of enterprises engaged in the extraction and processing of uranium-containing ores, and the population of the territories adjacent to uranium deposits, require an increase in the accuracy of estimates of absorbed and effective doses to the personnel of enterprises and the population with the inhalation of radon and its progeny. This can only be done by taking into account the contribution of the aerosol-unattached fraction of the radon decay progeny to the effective and absorbed radiation doses, which are evaluated on the basis of direct measurements. Alpha spectrometer SAT-03 – a means of measurement of the third generation, has been developed in the Research Institute of Industry and Maritime Medicine for these purposes. Widespread domestic radiometers of the previous generation (RAA-10, RRA-01M) do not have the technical capabilities to perform such studies.

Key words: alpha-spectrometer, radiometer, radon, volume activity, equivalent activity, aerosol-unattached fraction of the radon decay progeny, effective radiation dose, absorbed radiation dose.

И.В.Шкрабо (вед.инж.), А.В.Гусев (к.геогр.н., н.с.) – Федеральное государственное унитарное предприятие научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства, г. Санкт-Петербург.

Контакты: e-mail: thoron017@mail.ru.