

## Современные подходы к обеспечению защиты населения от радона. Международный опыт регулирования

С.М. Киселев<sup>1</sup>, М.В. Жуковский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственный научный центр Российской Федерации –  
Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

<sup>2</sup> Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург

*Активные исследования облучения населения радоном ведутся в мире уже более 30 лет. По результатам большого числа исследований, проведенных в различных странах, установлено, что радон и дочерние продукты распада вносят значительный вклад в суммарную дозу облучения населения. При этом доза облучения от ингаляции радона и дочерних продуктов распада превосходит дозы, обусловленные другими источниками ионизирующего излучения, в том числе используемыми в здравоохранении и поступившими в окружающую среду в результате деятельности предприятий ядерного топливного цикла. Пролонгированное внутреннее облучение организма дочерними продуктами распада радона является одним из ключевых факторов развития легочной онкопатологии. Результаты завершённых к настоящему времени мировых эпидемиологических исследований по оценке рисков возникновения рака легкого от радона в воздухе жилых помещений инициировали необходимость совершенствования подходов к регулированию данной проблемы. Международные организации предложили стратегию обеспечения радиационной защиты населения от радона и адаптировали ее к современным реалиям. В новых рекомендациях не только корректируется нормируемый уровень объёмной активности радона в жилищах, но и меняется его статус, переходя от уровня действия к референтному уровню. Учет новых рекомендаций требует пересмотреть стратегии по ограничению облучения населения данным компонентом природного облучения на национальном уровне и разработать план действий по их реализации на долгосрочную перспективу. В настоящей работе рассмотрены основные положения новых рекомендаций международных организаций, отражающие подходы к регулированию проблемы обеспечения радонобезопасности населения на современном этапе ее развития.*

Ключевые слова: радон, эпидемиологические исследования, рак легкого, регулирование, референтные уровни, национальный план действий.

### Введение

Радон является радиоактивным продуктом распада изотопов урана-235, -238 и тория-232. Среди образующихся радиоактивных изотопов (радон-219, -220, -222) радон-222, а точнее продукты его распада (ДПР) вносят основной вклад в облучение населения за счет радона. Обращаясь к истории развития радоновой проблемы, следует отметить, что ее начало было положено еще в XVI в., когда была обнаружена высокая смертность шахтеров в центральной Европе [1]. 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. Интенсификация деятельности по добыче и переработке урана в середине XX в. остро поставила проблему обеспечения безопасности персонала урановых рудников от воздействия радона и инициировала разработку первых рекомендаций международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ), основанных на установлении ограничений ингаляционного поступления радона в организм человека [2, 3]. История радона как причины рака легкого была формализована в 1986 г., с признанием Всемирной

организацией здравоохранения (ВОЗ) радона как человеческого легочного канцерогена [4]. Основные подходы к регулированию данного компонента природного облучения, базирующиеся на возможности контроля путей облучения человека от источника, были сформулированы в публикации МКРЗ 65 (1993 г.) [5]. В отличие от предыдущих рекомендаций Комиссии, в документе был сформулирован единый подход к защите населения от радона в жилищах и на рабочих местах. Для целей регулирования устанавливались уровни действия по объёмной активности радона в помещении (600 Бк/м<sup>3</sup> – в жилищах и 1000 Бк/м<sup>3</sup> на рабочих местах). Переход от эффективной дозы к объёмной активности (ОА) определялся на основе концепции условного дозового перехода с учетом эпидемиологических данных, полученных в исследованиях на шахтерах урановых шахт. По сути, уровень действия являлся своеобразной границей между «опасным» и «безопасным» воздействием радона и его ДПР. Система регулирования была ориентирована на защиту наиболее облучаемой группы населения. Основные положения публикации были восприняты во многих странах Европы, что, в свою очередь, инициировало проведение национальных радоновых обследований. С момента выхода публикации 65 прошло более двадцати лет. За это время значительно вырос объем данных эпидемиологических исследований

по прямой оценке связи возникновения рака легкого с ингаляционным поступлением ДПР радона, что позволило более детально взглянуть на проблему облучения населения, опираясь на исследования в жилых помещениях. С выходом публикации 103 МКРЗ [6] изменилась система радиационной защиты и, в частности, подходы к регулированию ситуации облучения населения природными источниками облучения. В связи с этим назрела необходимость пересмотра основных положений регулирования радонобезопасности населения и их адаптации к современным условиям.

### Научная основа регулирования

Важным этапом в формировании современных подходов к регулированию проблемы защиты населения от радона послужили результаты эпидемиологических исследований риска возникновения легочной онкопатологии, выполненных по методу «случай – контроль» для населения, проживающего в домах с различными уровнями радона. Необходимость проведения таких эпидемиологических исследований была очевидна, поскольку прямое использование эпидемиологических данных на шахтерах урановых рудников при оценке радиационного риска для населения имеет ряд существенных ограничений. Они связаны в первую очередь со специфическими условиями труда, 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 рамках инициированного ВОЗ Радонового проекта (2005–2008) были проанализированы результаты объединенного анализа данных по исследованиям связи между риском развития рака легкого и облучением населения радоном в жилищах [7]. Исследования были проведены в Европе (13) и Северной Америке (7). Объем основной группы составил 15 530, контрольной – 22 884 человек. Результаты объединенного анализа исследований позволили впервые провести прямую оценку риска для населения без необходимости экстраполяции параметров риска, полученных в исследованиях среди шахтеров. ВОЗ отмечает следующие ключевые моменты, связанные с воздействием радона на здоровье:

- Облучение радоном увеличивает риск заболевания раком легкого для всего населения. Доля радон-индуцированных случаев рака легкого в общей структуре данной патологии варьирует в диапазоне от 3% до 14%.

- На настоящий момент другие заболевания, обусловленные воздействием радона, не были убедительно продемонстрированы.

- Большинство радон-индуцированных раков легкого обусловлены скорее пролонгированным воздействием низких и средних концентраций радона, нежели высоких.

В публикации 115 МКРЗ представлен аналитический обзор выполненных в последнее время эпидемиологических исследований [8]. Основные выводы публикации представляют количественную оценку выраженности эффектов воздействия радона на здоровье человека. Показано, что величина дополнительного относительного риска рака легкого для населения от воздействия радона составляет 16% на 100 Бк/м<sup>3</sup>. Значение дополнительного пожизненного абсолютного риска, рекомендованное Публикацией 115 МКРЗ, составило  $5 \cdot 10^{-4}$  на рабочий уро-

вень за месяц (РУМ) по сравнению с величиной  $2,8 \cdot 10^{-4}$  на РУМ, рекомендованной в Публикации 65 МКРЗ. Выявлен мультипликативный характер взаимодействия ингаляционного облучения ДПР радона и спонтанной частотой возникновения рака легкого. Так, при незначительных различиях в относительных величинах прироста заболеваемости раком легкого для курильщиков и некурящих абсолютный риск для них отличался более чем на порядок. Таким образом, результаты эпидемиологических исследований свидетельствуют о том, что риск рака легкого увеличивается линейно с долгосрочной радоновой экспозицией, и нет свидетельств наличия порога. Риск возрастает статистически значимо даже при ОА радона 100 Бк/м<sup>3</sup> [7]. Данные обстоятельства послужили основой для пересмотра нормируемых уровней содержания радона в помещениях. По мнению ВОЗ, нормирование ОА радона в жилых помещениях на уровне 100 Бк/м<sup>3</sup> является обоснованным с точки зрения задач здравоохранения, направленных на эффективное снижение смертности от рака легкого. В заявлении по радону (ноябрь 2009 г., Публикация 115 [8]) МКРЗ пересмотрела количественные показатели оценок риска возникновения рака легкого от воздействия радона и его ДПР и рекомендовала верхнее значение нормируемого уровня для радона в жилых помещениях 300 Бк/м<sup>3</sup> против 600 Бк/м<sup>3</sup>, рекомендованных в Публикации 103.

### Современные подходы к обеспечению защиты населения от радона

В настоящее время базовые принципы радиационной безопасности определяются Публикацией 103 МКРЗ. Адаптация к новым рекомендациям МКРЗ базируется на рассмотрении различных вариантов ситуаций облучения, где центральная роль придается принципу оптимизации и референтным уровням (РУ). В большинстве случаев облучение радоном относится к ситуации существующего облучения, поскольку источником являются, как правило, неизменные концентрации естественных радионуклидов в земной коре. Деятельность человека может создавать или изменять пути поступления, повышая ОА радона внутри помещений по сравнению с фоном на открытой местности. Этими путями можно управлять с помощью предупредительных (профилактических) или корректирующих действий. По мнению МКРЗ и ВОЗ, подход, 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 [12]. Важным элементом современной стратегии регулирования радоновой проблемы является изменение смысла нормируемой величины, переходя от уровня действия к референтному уровню. Референтный уровень представляет собой уровень дозы, риска или концентрации радионуклидов, допущение превышения которого при планировании считается неприемлемым, а ниже которого должна осуществляться оптимизация защиты. Следствием использования понятия референтного уровня вместо понятия уровня действия является то, что оптимизация должна применяться как оправданная мера выше и ниже референтного уровня, а не только когда он превышает. Таким образом, основная идея реализации современной радоновой политики определяется не

только снижением индивидуальных рисков от радона для наиболее облучаемых лиц, но и направленностью на последовательное снижение общего коллективного риска для всего населения.

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. В настоящее время МКРЗ одобрила к публикации рекомендации по защите населения от радона, призванные разъяснить современную методологию регулирования с учетом новых научных данных и системы радиационной защиты, постулированной публикацией 103 МКРЗ. Для контроля облучения населения Комиссия рекомендует применять универсальный подход, направленный на управление зданием или местом, где имеет место быть ситуация облучения индивидуума радоном, независимо от предназначения здания и типа его обитателей. Мнения МКРЗ, МАГАТЭ и Еврокомиссии схожи в данном подходе. Для жилых, общественных помещений и классических рабочих мест рекомендуется установить единый референтный уровень в единицах объемной активности радона не более 300 Бк/м<sup>3</sup>. Для контроля облучения на рабочих местах МКРЗ предлагает использовать ступенчатый подход. На начальном этапе рекомендуется установить РУ как в жилых помещениях – 300 Бк/м<sup>3</sup>, в случае если облучение работников не является следствием их профессиональной деятельности, напрямую связанной с источником облучения. Если проведение радонозащитных мероприятий не позволяет снизить содержание радиоактивного газа на рабочем месте до установленного норматива, то его значение корректируется в сторону увеличения с учетом временных параметров облучения работника и соблюдения верхнего предела по эффективной дозе – 10 мЗв/год (1000 Бк/м<sup>3</sup>). Позиция МАГАТЭ по регулированию облучения на рабочих местах более консервативна [9]. Рабочие места делят на две категории. К первой группе относятся общественные учреждения, в которых время нахождения населения и обслуживающего персонала (работников) сопоставимы (школы, больницы). Ко второй группе относятся рабочие места с малым временем пребывания населения (офисы, библиотеки, магазины, кинотеатры и т.д.). В учреждениях первого типа предлагается установление референтных уровней, как в жилых помещениях – 300 Бк/м<sup>3</sup>. На рабочих местах, относящихся ко второй категории, рекомендуется установить референтный уровень 1000 Бк/м<sup>3</sup>, учитывающий временные различия нахождения людей на работе и дома. В том случае, если, несмотря на все разумные усилия по снижению воздействия радона, облучение на рабочем месте превышает РУ по дозе в 10 мЗв/год (МКРЗ, МАГАТЭ) или 6 мЗв/год (Еврокомиссия), то работники переводятся в категорию профессионально облучаемых лиц. Регулирование облучения в данном случае осуществляется с применением принципов защиты в ситуации планируемого облучения.

Одной из существенных особенностей современных рекомендаций МКРЗ является изменение подхода к оценке эффективной дозы облучения при ингаляционном поступлении ДПР радона. Комиссия решила отойти от ранее применяемого подхода к оценке эффективной дозы от радона на основе условного дозового перехода и ис-

пользовать классические дозиметрические модели для расчета доз внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радионуклидов.

Целесообразность этого решения вызывает сомнения и вполне оправданные опасения, обусловленные возможным усложнением регулирования радона на рабочих местах. Учитывая сложность дозиметрических моделей и значительную вариабельность параметров, зависящих от качества внутренней среды помещений, следует ожидать высокую степень неопределенности в оценках доз облучения. Возможно, ряд вопросов будет снят после выхода публикации МКРЗ по определению численных значений дозовых коэффициентов.

### Национальный план действий

Проблема обеспечения защиты населения от радона требует комплексного подхода к ее решению. В связи с этим МКРЗ рекомендует национальным регулирующим органам разработать систему мероприятий в виде национального плана действий с учетом долгосрочной перспективы его реализации [10]. Регулированию ситуации облучения населения радоном уделено особое внимание в новой редакции стандартов безопасности МАГАТЭ. В документе отмечается, что план должен разрабатываться в качестве инструмента осуществления государственной политики в области обеспечения радиационной безопасности [9]. В новой директиве Евросоюза подчеркивается обязательность принятия радоновых программ странами Евросоюза. С момента вступления в силу новых стандартов безопасности Евросоюза государствам-членам отводится 4 года для внесения изменений в национальные законодательства [11].

Стратегическая цель реализации национального плана действий заключается в снижении радон-индуцированной заболеваемости и смертности населения от онкологических заболеваний легкого. Достижение поставленной цели должно достигаться путем одновременного решения двух взаимосвязанных задач:

- уменьшения доли лиц, подвергающихся неприемлемо высоким индивидуальным рискам;
- уменьшения среднего значения индивидуального риска, связанного с радоном и продуктами его распада, для всего населения страны.

С учетом специфики радоновой проблемы в плане должна быть предусмотрена разработка и реализация специальной радоновой программы, в которой должны быть определены организационные основы и механизмы претворения в жизнь мероприятий по повышению радиационной безопасности применительно к данному компоненту природного облучения.

На этапе подготовки радоновой программы необходимо предусмотреть проведение работ по гармонизации существующей законодательной и нормативно-методической базы и разработке новых регулирующих документов, направленных на совершенствование надзора в этой области. Ключевым элементом является установление референтного уровня. Он является важной составляющей радоновой программы и должен устанавливаться странами на национальном уровне. Решение об установлении референтного уровня требует применения процесса оптимизации с учетом существующих экономических и социальных обстоятельств. Значения РУ должны периодически пересматриваться в ходе реализации радоновой программы для соответствия задачам регулирования.

## Основные элементы радоновых программ

### *Радоновые обследования*

В самом начале и периодически в ходе реализации радоновой программы необходимо оценить степень риска для населения, связанного с присутствием радона в домах. Для этого в рамках программы должны быть запланированы мероприятия по оценке среднего уровня облучения населения территории радоном и параметров распределения этой величины. Результаты национальных радоновых обследований составляют информационную основу для принятия решений по целесообразности установления или изменения референтных уровней с учетом принципа оптимизации защиты. Основным итогом радоновых обследований должно являться составление радоновой карты страны с детализацией потенциальных радоноопасных территорий.

### *Радонозащитные мероприятия*

В радоновой программе должны быть разработаны мероприятия по снижению облучения населения радоном. Их реализация базируется на двух подходах: предупредительном и корректирующем. Стратегия предупредительных мер защиты нацелена на удержание облучения населения на минимальном разумно достижимом уровне в сложившихся условиях. Каким бы ни было расположение помещения, категория лиц внутри него и тип ситуации облучения, облучение радоном можно оптимизировать, принимая его во внимание на этапах планирования, проектирования и строительства здания или выбора места его расположения.

Опыт реализации европейских программ показывает, что при правильном применении превентивных мероприятий в новых домах они оказываются наиболее экономически выгодными и эффективными.

Стратегия корректирующих мер нацелена на снижение облучения до разумно достижимого минимального уровня. Эта часть стратегии касается в основном существующих зданий или помещений. В этом случае контроль облучения должен обеспечиваться, насколько это возможно, через управление зданием (или помещением) и условиями его использования, независимо от категории лиц, находящихся внутри здания.

### *Информирование заинтересованных сторон*

Успех государственной стратегии в отношении радона во многом зависит от решений, принимаемых отдельными лицами для снижения риска в их жилище. Решение радоновой проблемы требует вовлечения большого числа граждан, поэтому информационное обеспечение является важной частью радоновой программы. Наряду с этим, опыт показывает, что важную роль играет ознакомление местных органов самоуправления и реализации механизмов их заинтересованности в этом вопросе. Широкое информирование по проблеме радона должно способствовать максимальному вовлечению специалистов в области строительства и других сферах. В связи с этим в рамках радоновой программы должны быть предусмотрены мероприятия по обучению специалистов, таких как архитекторы, инженеры-строители, медики, специалисты по радиационной защите, работодатели, представители профсоюзов

и других специалистов. В стране целесообразно создать национальную базу данных для накопления результатов измерений радона и иной информации, имеющей отношение к радоновой программе. Собранная в базе данных информация должна включать в себя такие параметры, как уровни радона до и после выполнения радонозащитных мероприятий, строительные характеристики, тип защитных мер, затраты на установку, ежегодные расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание и т.д.

### *Распределение ответственности*

Степень осуществления обоснованных действий по обеспечению радонобезопасности во многом определяется степенью ответственности за ситуацию облучения. Национальная политика в отношении радона должна быть направлена на решение проблем в сфере юридической ответственности, в особенности ответственности продавца дома или здания перед покупателем, хозяина перед арендатором, работодателя перед работником. Поэтому в национальном плане действий следует рассмотреть механизмы установления ответственности и контроля над их соблюдением. Требования должны быть соразмерны со степенью и видом ответственности и должны применяться после того, как оценки покажут, что в сложившихся обстоятельствах обязательные требования являются более эффективными, чем стимулирующие.

### *Координация с другими национальными программами*

Национальная стратегия защиты от радона должна быть согласована с другими государственными программами и приоритетами в области охраны здоровья. Проблему снижения риска онкологической заболеваемости, обусловленную воздействием радона, нельзя рассматривать в отрыве от доминирующего фактора риска в развитии данной патологии – курения. Учитывая синергетическое действие радона и курения, важным элементом стратегии, направленной на снижение риска общей заболеваемости раком легкого, является координация национальных программ по снижению облучения населения радоном в жилищах и ограничению табакокурения. Особую актуальность этот подход имеет при снижении рисков возникновения онкологических заболеваний людей, проживающих в домах с невысокими уровнями содержания радона, где затраты на реализацию радонозащитных мероприятий существенно возрастают. Стратегия защиты населения от радона должна быть также согласована с национальной программой энергосбережения. Совершенствование энергосберегающих технологий и их применение в строительстве новых зданий зачастую приводят к уменьшению воздухообмена и, как следствие, – к увеличению содержания радона в помещениях.

### *Адаптация современных рекомендаций международных организаций к практике отечественного регулирования*

В вопросах регулирования облучения населения от природных источников Россия следует рекомендациям международных организаций. В стране функционирует многоступенчатая система регулирования, построенная на контроле основных путей облучения населения. После выхода публикации 65 МКРЗ в России была сформирована федеральная целевая программа «Радон». Реализация мероприятий в

рамках данной программы дала старт национальным радоновым обследованиям и развитию региональных программ по обеспечению защиты населения от радона и других компонентов природного облучения. Однако в связи с отсутствием необходимого финансирования программа была закрыта, и в настоящее время некоторые отдельные ее положения реализуются в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности» на бессистемной основе. Отсутствие единого подхода к планированию и проведению мероприятий в данной области регулирования усложняет решение задач обеспечения защиты населения от компонентов природного облучения. Высокая социальная значимость радоновой проблемы обуславливает необходимость ее широкого обсуждения национальными регулирующими органами и другими заинтересованными сторонами. Итогом этой деятельности должна стать разработка единой национальной стратегии по защите населения от источников природного облучения.

### Литература

1. Якоби, В. История радоновой проблемы в шахтах и жилых помещениях / В. Якоби // МКРЗ 23 (2). 1993. – С. 39–45
2. Оценка канцерогенных рисков для человека. – Лион: Международное агентство по исследованию рака, 1988. – Т. 43.
3. Пределы ингаляционного поступления дочерних продуктов распада радона для профессиональных работников. Публикация 32 МКРЗ, 1981. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Принципы нормирования облучения населения от естественных источников ионизирующих излучений. Публикация 39 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
6. Публикация 103 МКРЗ 2007 г. Пер. с англ. / под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандала. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
7. Руководство по радону. – Женева: ВОЗ, 2009.
8. Публикация 115 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) 2010 г. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2013.
9. Радиационная защита и безопасность источников излучения. Международные основные нормы безопасности МАГАТЭ. Промежуточное издание. 2013.
10. Лекомте, Ж. Радон и система радиологической защиты / Ж. Лекомте // Annals of the ICRP. – 2012. – V. 41, Issues 3–4. – P. 389–396.
11. Стандарты безопасности Евросоюза (драфт). Директива 2013/59/Евроатом. 2013
12. Жуковский, М.В. Современные подходы к нормированию облучения радоном и анализ последствий их применения в России / М.В. Жуковский, И.В. Ярмошенко, С.М. Киселев // АНРИ. – 2011. – Т. 5.

Киселев С.М.,  
E-mail: sergio@gmail.com,  
Тел.: (985) 7611017

Поступила: 03.10.2014 г.

## Modern approaches to public protection against indoor radon. International regulatory experience

S.M. Kiselev<sup>1</sup>, M.V. Zhukovsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Research Center Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnasyan (SRC FMBC)

<sup>2</sup> Institute of industrial ecology Ural Branch of RAS

*Intensive worldwide researches of the public exposure to radon are carried out for over 30 years. According to numerous studies being performed in many countries, radon and its progenies contribute significantly in total dose to the public. At that, dose due to inhalation of radon and its progenies is higher than that induced by other radiation sources, including sources used in medicine and those occurring in the environment due to the nuclear fuel cycle activities. Prolonged internal exposure to the human's body induced by the radon decay products is one of the key factors in the development of the lung cancer pathology. The recent results of global epidemiological studies, aimed at the risk assessment of indoor radon-induced lung cancer, have initiated the need to improve approaches to the regulation of this problem. International organizations (such as WHO, IAEA, ICRP) proposed a strategy of the public radiation protection against radon exposure and adapted this strategy to the up-to-date realities. The recent recommendations not only correct the radon activity concentration being limited in dwellings, but also change its status through converting the action level to the reference one. The strategies for limitation of the public exposure due to this component of natural radiation should be revised at the national level and an action plan for their implementation in the long term perspective should be developed. This paper deals with the key provisions of the recent international recommendations including approaches to regulate the public protection against radon exposure.*

Key words: radon, epidemiological studies, lung cancer, regulation, reference level, national action plan.

### Introduction

Radon is a radioactive decay product of uranium-235, -238 and thorium-232. Among the resulting radioactive isotopes (radon-219, -220, -222), radon-222, and its progeny make an a major contribution to the exposure of the population due to radon. Turning to the history of the radon problem, it should be

noted that the origin was laid in the 16th century, when was found the high mortality rate of miners in central Europe [1]. At the end of the 19th century, the disease was diagnosed as a lung cancer and suggested a direct connection of lung cancer pathology of miners with exposure to radioactive gas. Results of the first epi-