

Г.Н. МИХАЙЛОВ, Н.А. МАЦ, И.М. ХАЙКОВИЧ

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Стремление ограничить население от чрезмерного облучения природными радионуклидами и радионуклидами техногенного (искусственного) происхождения в мировой практике реализуется путем нормирования параметров, определяющих состояние радиационной обстановки на селитебных территориях и внутри зданий. Нормами радиационной безопасности НРБ — 96 предусмотрен контроль за содержанием радионуклидов в воздухе, воде, в строительных материалах. Законом РФ "О радиационной безопасности населения" (январь, 1996 г.) указано, что "в целях защиты населения от природных радионуклидов должны осуществляться:

выбор земельных участков для строительства зданий и сооружений с учетом выделения радона из почвы и гамма-излучения;

проектирование и строительство зданий и сооружений с учетом предотвращения поступления радона в воздух этих помещений;

проведение производственного контроля строительных материалов, приемка зданий и сооружений в эксплуатацию с учетом уровня содержания радона в воздухе помещений и гамма-излучения природных радионуклидов;

эксплуатация зданий и сооружений с учетом уровня содержания в них радона и гамма-излучения природных радионуклидов".

Радиационный контроль — одно из важнейших условий обеспечения требованиям НРБ.

Радиационному контролю подлежат:

радиационные характеристики источников выбросов в атмосферу;

радиационные факторы в результате технологических процессов;

радиационные факторы на загрязненных территориях;

уровни облучения персонала и населения; медицинские источники облучения; природные источники.

Контролируются следующие параметры: годовая эффективная доза и годовая эквивалентная доза;

поступление радионуклидов в организм; объемная (удельная) активность в воздухе, воде и т.д.;

радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви и пр.; мощность дозы внешнего облучения; плотность потока частиц и фотонов.

Для реализации радиационного контроля необходимо разработать стандартизованные методы, реализовать их в соответствующих средствах измерений и обеспечить их применение на основе единой нормативно-технической документации.

1. Для контроля воздушной среды в настоящее время используют радиометры на основе газоразрядных счетчиков. Такие радиометры, как правило, мало чувствительны и мало пригодны для профессиональных нужд. В ВИРГе разработан портативный сцинтилляционный радиометр, практически не чувствительный к космическому излучению. Диапазон измерений в интервале энергий гамма-излучения до 3 МэВ — от 0,5 до 5000 мкР/ч, основная погрешность — до 15 %.

2. Для контроля радиоактивности водной среды разработана установка на основе высокочувствительных сцинтилляционных блоков детектирования.

Основные технические характеристики:  
диапазон измерений — 0,5 — 5000 мкР/ч  
по мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) и 1,5 — 30000 Бк/л по удельной активности  $^{137}\text{Cs}$ ;

временная нестабильность — не более 1% за 8 ч;

температурная нестабильность не более 0,1% на 1°C;

время установления рабочего режима — не более 15 мин.;

напряжение источника питания — 20—27 В; энергопотребление не более 10 Вт.

Управление блоками детектирования осуществляется с помощью ПК. Обмен информацией производится по двухпроводному магистральному последовательному интерфейсу типа RS-485 с гальванической развязкой.

Предусмотрена возможность определения природы гамма-излучения.

Основная градуировочная характеристика получена по результатам аттестации приборов по мощности экспозиционной дозы гамма-излучения точечными источниками ионизирующих излучений. Для перевода результатов измерений в значения удельной активности использованы значения дозовых эквивалентов удельной активности, приведенные в табл.1.

Таблица 1

**Дозовые эквиваленты удельной активности D в воде для различных источников гамма-излучения**

Источник	D, (мкР·л) / Бк·ч)
$^{226}\text{Ra}$ в равновесии	$(9,12 \pm 0,23) \cdot 10^{-2}$
$^{232}\text{Th}$ в равновесии	$(12,7 \pm 0,30) \cdot 10^{-2}$
$^{137}\text{Cs}$	$(2,97 \pm 0,11) \cdot 10^{-2}$
$^{134}\text{Cs}$	$(7,30 \pm 0,23) \cdot 10^{-2}$
$^{60}\text{Co}$	$(13,7 \pm 0,21) \cdot 10^{-2}$

Установка аттестована органами Госстандарта РФ.

3. На основе аналогичных сцинтиляционных блоков детектирования разработана система контроля радиационных характеристик бытового мусора, поступающего автотранспортом на заводы по его переработке. Система представляет собой нестандартизированное средство измерений и состоит из следующих основных частей:

трех блоков детектирования гамма-излучения на основе сцинтиляционных монокристаллов NaJ(Tl) размером 80×80 мм. Блоки детектирования располагаются на металлической конструкции типа "ворот" таким образом, что один находится сверху, а два других — на боковых стойках. Размеры "ворот" обеспечивают беспрепятственный проезд автотранспорта с грузом;

входного блока обработки информации, преобразующего сигналы с блоков детектирования в число, пропорциональное мощности экспозиционной дозы гамма-излучения;

кабельной сети, обеспечивающей питание блоков детектирования и их связь с входным блоком обработки информации;

персонального компьютера класса не ниже AT-386, установленного в служебном помещении на расстоянии не более 20 м от блоков детектирования, программного обеспечения (ПО) — для перевода зарегистрированного детекторами сигнала в единицы мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и принтера — для документирования результатов контроля.

Технические характеристики установки:

измеряемая величина — мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в диапазоне энергий от 100 кэВ до 3 МэВ. Измерения проводятся в режиме движения со скоростью не более 5 км/ч или в режиме стоянки автомашины;

диапазон измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения — от 5 до 500 мкР/ч;

основная относительная погрешность измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения — 25 %;

разрешающая способность измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения — не хуже 0,5 мкР/ч при фоновом значении от 10 до 20 мкР/ч;

температурный режим работы: для детекторов — от минус 40 до 40°C; для входного блока обработки информации — от 10 до 40°C;

режим работы: для системы термостабилизации блоков детектирования — непрерывный; для остального оборудования установки определяется производственным циклом.

Предусмотрена возможность подключения модема для организации централизованного сбора информации и подключения к автоматизированной системе контроля радиационной обстановки (АСКРО).

4. Разработан аппаратурно-методический комплекс (АМК) для изучения радиоэкологической обстановки в районе действующих предприятий — в первую очередь горнодобывающей и горноперерабатывающей отрасли — с целью оценки их влияния на окружающую среду и организации мониторинга. Технология предусматривает комплексное изучение земной поверхности, воздушного и водного бассейнов как на территории самих предприятий, так и в примыкающих селитебных территориях. В состав АМК входят:

аппаратура для выявления природы и активности источников естественного и техногенного радиоактивного загрязнения — носимые концентратометры РКП-305, РСН-010 и

автомобильная станция радиационного контроля РСА-007 с порогом чувствительности  $10^{-4}\%$  по урану и торию, 0,1 % по калию и 0,1 КИ/км<sup>2</sup> по  $^{137}\text{Cs}$ ;

аппаратура для отбора атмосферных аэрозолей и радиометрического анализа РЗА-04 "Омега" с порогом чувствительности при измерениях эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе 2 Бк/м<sup>3</sup>;

лазерно-флюоресцентный анализатор урана АУФ-101 "Ангара" с пределом обнаружения урана в аэрозольных компонентах  $10^{-6}\%$  и  $10^{-8}\text{ г/л}$  для жидкой фазы.

Методики выполнения измерений и аппаратура метрологически аттестованы организациями Госстандарта и имеют соответствующие свидетельства.

На примере АО "Ковдорский ГОК" показана возможность обследования селитебных территорий, примыкающих к промышленной зоне, и сбросов отходов производства в речную систему; определены границы санитарно-защитной зоны по пылерадиационному фактору и величина предельно допустимых выбросов в атмосферу с учетом плановых взрывов горнорудной массы в карьере и пылерадиационной компоненты вследствие выбросов при обогатительном процессе. Установлено, в частности, что эквивалентная доза для жителей г. Ковдор за счет радиационных выбросов не превышает  $0,002 - 0,05\text{ м}^3/\text{год}$ .

Разработанная технология не имеет аналогов и может быть использована на любых предприятиях, в производственном цикле которых присутствуют естественные радионуклиды.

5. На территории РФ действуют ГОСТ 30108—94 "Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов", Норматив Минздрава РСФСР (№ 43-10/796, 1990 г.) по предельно допустимым значениям концентраций радона в зданиях; Временные критерии по принятию решений при обращении с почвами, твердыми строительными, промышленными и другими отходами, содержащими гамма-излучающие радионуклиды. Госсанэпиднадзор РФ, 01-19/5-11 от 05.06.92; Инструкция по измерению гамма-фона в городах и населенных пунктах. Минздрав СССР, № 3255 от 09.04.85 и др. Все перечисленные нормативные документы на законодательном уровне устанавливают нормативы, но не отвечают на вопрос о методах и средствах контроля (что, где и как измерять). Кроме того, некоторые из них устарели и не отвечают современным требованиям радиационной безопасности. Это приводит подчас к тому, что измерения радиа-

ционных параметров проводят по неаттестованным органами Госстандарта РФ методикам и неаттестованной аппаратурой, что не гарантирует требуемого качества к изучению радиационной обстановки. Особо сложная обстановка сложилась с обеспечением радоноопасности строительства. Для выполнения требований Минздрава РСФСР по радону необходимо оценить уровень радоноопасности территорий застройки, выдать рекомендации по сооружению радонозащитных мероприятий, проконтролировать выполнение норм радиационной безопасности. Следует отметить, что рядом местных организаций, которые осуществляют в настоящее время контроль за радиационной обстановкой, разработаны отдельные документы. Однако они не объединены единой методологией, а некоторые из них устарели и требуют корректировки. В этой связи обеспечение методического единства и единства измерений радиационных параметров при оценке радиационной обстановки на селитебных территориях, в зданиях и сооружениях жилого и производственного назначений является чрезвычайно важной задачей.

В ВИРГе начаты работы по подготовке комплекса НТД, который будет способствовать упорядочению процесса сертификации подразделений, привлекаемых к оценке радиационной обстановки. В первую очередь, предполагается сосредоточить внимание на подготовке следующих документов:

#### 1. Нормы и правила.

1.1. Правила приемки зданий, построенных на радоноопасных территориях.

1.2. Допустимые уровни доз внешнего гамма-излучения и концентраций радона на участках застройки.

1.3. Правила по радиационным обследованиям селитебных территорий.

1.4. Правила применения материалов, содержащих повышенные содержания радионуклидов, при дорожном строительстве.

1.5. Радиационные характеристики строительных материалов, внешней и внутренней среды селитебных территорий. Термины, определения, единицы физических величин.

#### 2. Методики выполнения измерений.

2.1. Методика выполнения измерений мощности дозы внешнего гамма-излучения на селитебных территориях и в помещениях.

2.2. Методика выполнения измерений концентраций радона в грунтах.

2.3. Методика выполнения измерений эквивалентной объемной активности радона и его ДПР в воздухе жилых и служебных помещений.

2.4. Методика выполнения измерений при экспрессной оценке значений удельной эффективной активности естественных радионуклидов в строительном сырье, материалах и изделиях (в соответствии с требованиями ГОСТ 30108 — 94).

2.5. Методика выполнения измерений эманирующей способности грунтов и строительных материалов.

2.6. Методика выполнения измерений эксхаляции радона с поверхности земли.

2.7. Выявление радиоактивного загрязнения на территории городов и населенных пунктов.

### 3. Методические указания.

3.1. Районирование территорий по степени радиационной опасности по данным геологогеофизических исследований.

3.2. Содержание и порядок экспертизы проектов на соответствие нормам радиационной безопасности. Методические указания.

3.3. Содержание и порядок согласования строительства зданий на потенциально радиационно опасных территориях. Методические указания.

3.4. Прогнозная оценка среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона в помещениях.

3.5. Рекомендации по снижению концентраций радона в помещениях на этапах проектирования и строительства зданий и сооружений.

К работе по подготовке комплекта НТД привлечены ведущие организации. Санкт-Петербург — Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского, Региональный "Геоэкоцентр", СЗРГЦ, НПО "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" и др. Программа работ положительно оценена секциями "Ядерная геофизика и геоэкология" Метрологической академии РФ и "Экология" Научно-методического совета по геолого-геофизическим технологиям Министерства природных ресурсов РФ, одобрена и рекомендована к использованию в Комитете по градостроительству Санкт-Петербурга в 1997 году.

6. Разрабатываемые методы и средства должны быть в первую очередь положены в основу контроля радиационной обстановки окружающей среды в районе действующих горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий.

Хозяйственная деятельность человека, в том числе поиски, разведка и эксплуатация месторождений полезных ископаемых, в ряде случаев может привести к необратимым изменениям геологической среды. В числе источников, оказывающих вредное воздействие

на окружающую среду, следует обратить особое внимание на естественные источники радиации, которые в результате деятельности горнодобывающей промышленности претерпевают значительные изменения. Следует отметить, что вопросы радиоэкологической оценки месторождений, особенно месторождений нерадиоактивного сырья, проработаны недостаточно, несмотря на то, что вклад в дозу облучения от техногенного загрязнения сопутствующими естественными радионуклидами (ЕРН) может быть значительным и в ряде случаев едва ли не доминирующим. Поскольку месторождения твердых полезных ископаемых имеют чрезвычайно разнообразный генезис и могут располагаться как в магматических, так и в осадочных и метаморфических толщах пород, которые характеризуются различными содержаниями ЕРН, то естественно провести их классификацию, с тем чтобы уже на ранних этапах поисково-разведочных работ организовать целенаправленный сбор материала для оценки радиационной обстановки в районе будущего месторождения, планирования его безопасной отработки и, при необходимости, организации радиоэкологического мониторинга и проведения защитных мероприятий. Такая классификация разработана совместно ВИРГом и ВСЕГЕИ. В основу предлагаемой классификации положены оценки последствия радиационного воздействия, обусловленные наличием в рудах ЕРН — урана, тория и продуктов их распада, радиоактивного изотопа  $^{40}\text{K}$ . Следует иметь в виду, что наибольшую опасность в урановом ряду представляет  $^{222}\text{Rn}$  и его короткоживущие продукты распада и что по своему воздействию торий более токсичен, чем уран, а ЕРН могут быть минералогически и генетически связанны либо с полезной компонентой, либо с рудовмещающими породами.

Анализ совокупности данных показывает, что при создании системы классификации месторождений твердых полезных ископаемых в первую очередь необходимо учитывать особенности природных условий районов, специфические радиационные параметры разных типов руд и вмещающих пород, а также инженерно-геологические показатели. В свою очередь радиационные параметры будут определять горнотехнические признаки, которые зависят от стадии работ и способов их ведения.

К числу факторов, оказывающих существенное влияние на радиационную обстановку в районе месторождения, относятся в первую очередь следующие:

геолого-структурное положение и минералогические характеристики месторождения (геологическое строение, тектоника, минеральный состав руд и вмещающих пород);

радиогеохимическая характеристика руд и вмещающих пород;

гидрогеологические условия (строение гидрогеологического разреза, распространение и границы водоносных горизонтов, водонасыщенность руд и горных пород и их фильтрационные свойства, гидрогеохимические свойства подземных вод);

ландшафтно-географическое положение (сочетание с основными элементами рельефа и гидрографической сети, климатические особенности);

инженерно-геологические характеристики.

В соответствии с предложенной классификацией все промышленные типы месторождений твердых полезных ископаемых по степени радиационной опасности подразделяются на четыре категории (класса):

безопасные, (1-й класс);

потенциально опасные (условно безопасные, 2-й класс);

опасные, (3-й класс);

особо опасные, (4-й класс).

К безопасным следует отнести месторождения полезных ископаемых, которые не нуждаются в проведении специальных исследований при заключении об их радиационной опасности для персонала и населения. К потенциально опасным относятся месторождения, которые по своим радиогеохимическим показателям не представляют опасности, но заключение об их радиационной опасности (или безопасности) не может быть сделано без дополнительных исследований радиационной обстановки. Опасными и особо опасными являются месторождения, при разведке и эксплуатации которых должны быть приняты специальные меры, обеспечивающие безопасность населения, проживающего в его окрестности.

Следует иметь в виду, что в зависимости от стадии работ и других условий безопасные месторождения могут перейти в более высокую категорию.

На стадии оценочных работ основными параметрами для классификации являются значения удельных эффективных активностей. Это связано с тем, что на этой стадии объем горных работ минимален и практически не нарушает установленного в природе экологического равновесия, а основная дозовая нагрузка на живую природу связана с внешним облучением.

Возможные загрязнения окружающей среды на различных стадиях разведки и эксплуатации зависят от способа разведки и эксплуатации месторождений и охватывают воздушный и водный бассейны (в том числе подземных выработок) и земную поверхность.

В процессе разведки, добычи и переработки руд месторождений твердых полезных ископаемых образуются значительных размеров хвостохранилища, отвалы. Поэтому большое внимание должно уделяться выбору мест их размещения. Кроме того, в процессе переработки рудной массы часть радиоактивного материала может вызвать загрязнение конечного продукта.

Из вышеизложенного следует, что на месторождениях 2 — 4-го классов процесс разведки месторождений твердых полезных ископаемых, добычи и переработки рудной массы должен сопровождаться контролем радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне, в зоне наблюдений, а также в производственных помещениях и в примыкающих к месторождению поселках. Естественно, что размеры зон зависят от класса месторождения, а технология контроля и обследования могут меняться при этом в широких пределах — от периодического до постоянного — вплоть до организации мониторинга.

Анализ материалов по оценке радиационной обстановки на месторождениях твердых полезных ископаемых в Российской Федерации показывает, что до настоящего времени радиационный контроль в России практически не наложен. Исключение составляют лишь месторождения урановых руд, которые традиционно относятся к категории особо опасных. Поэтому систему радиационного контроля, призванную упорядочить работы по ограничению населения от воздействия радиации на всех этапах поисково-разведочных и эксплуатационных работ на месторождениях твердых полезных ископаемых, приходится организовывать практически заново.

Предложенная система классификации месторождений твердых полезных ископаемых использована для прогноза радиационной опасности в районе месторождений, расположенных в восточной части Балтийского щита на территории Карело-Кольского региона. Карело-Кольский регион является крупнейшей геологической провинцией России, имеет мощную горно-сырьевую и металургическую промышленность с крупными промышленными городами: Костамукша, Кировск,

Апатиты, Мончегорск, Оленегорск, Ковдор, Никель, Печенга и др. Металлогенический облик территории определяется железом, никелем, медью, фосфатными и глиноземистыми рудами в ассоциации с редкими металлами в уни-

ций относится к категории условно безопасных (или потенциально опасных). К категории безопасных можно отнести сульфидные медно-никелевые формации. Опасными являются месторождения в редкометальных и ред-

**Таблица 2**  
**Опасные и особо опасные по радиационным параметрам месторождения рудных формаций восточной части Балтийского щита**

Рудная формація	Геологические формации	Металлоге-нические зоны	Рудные районы	Геохимическая ассоциация	Массовые доли ЕРН			Масштаб месторождения	Номер класса
					U, г/т	Th, г/т	K, %		
1. Тантал-церий-глинозем-фосфорная в нефелиновых сиенитах	Агапитовых нефелиновых сиенитов	Хибинско-Ла-возерская	Нонтозерский	Ta—Ce—Zr—Mo	30—400	70—300	5,0		3
2. Ниобий-фосфор-железорудная и флогопитовая в щелочно-ультраосновных породах и карбонатитах	Ультраосновных и щелочных пород с карбонатитами	Себльяврский, Ковдорский, Африкановский, Вуориярвинский, Песочный, Турый мыс		Nb—Tl—Zn—Ce	15—300	10—1000	5,0	2 2,3 3	3
3. Литий-цезиевая и тантал-бериллиевая в пегматитах и мета-соматитах	Гранитовая	Воронье-Колмозерская, Урагубско-Мурманская	Ваенмыльский, Полмоступдорский, Колмозерский, Шопгуйский	Li—Cs—Ta—Nb—Be—Ce—Y	5—200	20—1000	3,5	1 1 2,3	3
4. Золоторудная в кварцевых конгломератах	Доломито-сланцево-диабазовая	Северо-Онежская, Пурнаиская		Au—U	5—300	10—100	1,5	3	3
5. Мусковитовых и керамических пегматитов	Мигматит-гранитовая	Енско-Кандаканская	Рамозерский, Пиртимский, Толворугейский, Енский, Ракалатвинский, Чупинский	Nb—Be—Th—U	5—300	50—5000	5,0	1,2	4
6. Ванадий-урановая с Cu, Mo и благородными металлами	Доломито-сланцево-диабазовая	Чупино-Лоухская, Онежская	Падменский	V—U—Cu—Mo—Au—Pt—Pd—Ag	50—1000	8—30	2,5	1,2 1,2,3	4

\* 1 — крупные, 2 — средние и мелкие, 3 — рудопроявления

кальных месторождениях нефелина и апатита, а также слюдоносными и керамическими пегматитами и флогопитом. Характеристике полезных ископаемых региона посвящена обширная литература, отражающая результаты многолетних исследований больших коллекций специалистов.

Подробный анализ всех материалов показывает, что большинство рудныхforma-

ций кометально-фосфорных формациях, а особо опасными — объекты с повышенными содержаниями тория и урана (формации мусковитовых и керамических пегматитов и ванадий-урановая). В приведенной табл. 2 дана краткая характеристика некоторых рудных формаций и расположенных в пределах этих формаций месторождений, которые относятся к категории опасных и особо опасных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации. // Докл. Научного комитета по действию атомной радиации Генеральной Ассамблеи за 1988 год. М.: "Мир", 1988.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ — 96). Госкомсанэпиднадзор России. М., 1996.
3. Серых А.С., Хайкович И.М. К вопросу о радиационном контроле строительных материалов. // Российский геофизический журнал. 1993. № 1.
4. IAEA. Calibration and Use of Calibration facilities for Radiometric Field Equipment. Vienna.: TRS. 1989. №309.
5. Терентьев М.В., Терентьев Р.П. Уровни облучения шахтеров неуранных шахт России // АНРИ: Научно-информационный журнал. 1996/97. Вып.3.
6. Металлогеническая карта восточной части Балтийского щита/Отв. ред. Т.В. Билибина. М.—Л., 1983.