

# Внутренний контроль поглощения радиоактивных веществ: Новые подходы МКРЗ

## Обзор публикаций МКРЗ в этой области

А.А. Моисеев и Ж.К. Нено

Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) сформулировала рекомендации по философии радиационной защиты. МАГАТЭ, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Международная организация труда (МОТ) и Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР) использовали эту философию при подготовке пересмотренных в 1982 г. *Основных норм безопасности для радиационной защиты*; она создает всеобщую основу для принятия согласованных и новейших норм радиационной защиты.\* Эти пересмотренные нормы явились значительным шагом в деятельности Агентства по уменьшению риска в связи с использованием радиоактивных веществ и других источников ионизирующего излучения. Основная идея философии МКРЗ заключается в контроле за индивидуальным риском с помощью специальных предельных уровней доз, оптимизации радиационной защиты и обоснования всех видов деятельности, связанных с воздействием излучения.

Для организаций и лиц, занимающихся вопросами защиты персонала от ионизирующих излучений, а также планирования и организации профессиональной радиационной защиты, разработаны общие принципы проведения соответствующей деятельности, изложенные МКРЗ в *Общих принципах контроля за радиационной защитой персонала*, а позднее МАГАТЭ в его *Основных принципах профессиональной радиационной дозиметрии*.\*\* Главной целью радиационной дозиметрии персонала является обеспечение максимально достижимого низкого уровня облучения и предотвращение превышения установленных предельных уровней.

Г-н Моисеев – сотрудник Отдела ядерной безопасности МАГАТЭ.

Г-н Нено – сотрудник Департамента защиты КАЭ, Институт защиты и ядерной безопасности, Фонтене-о-Роз. Оба они являются членами Комитета 4 МКРЗ, а г-н Нено являлся председателем рабочей группы, подготовившей Публикацию 54 МКРЗ.

\* *Basic safety standards for radiation protection*

Серия документов по безопасности № 9, МАГАТЭ, Вена (1982 г.).

\*\* *General principles of monitoring for radiation protection of workers*, Отчет Комитета 4 МКРЗ, Публикация 35 МКРЗ, *Annals of the ICRP* т. 9, № 4, Pergamon Press, Оксфорд (1982 г.); *Basic principles for occupational radiation monitoring*, МАГАТЭ, Серия изданий по безопасности № 84, МАГАТЭ, Вена (1987 г.).

Вид и масштабы радиационной дозиметрии зависят от радиологических условий в том месте, где ведутся соответствующие работы, и от связанной с ними радиационной ситуации. Соответствующая программа должна включать всеобъемлющую внутреннюю дозиметрию наряду с другими дозиметрическими методами (индивидуальная дозиметрия внешней дозы, загрязнения кожи и одежды; контроль рабочих мест, включая определение уровней излучения и загрязнения воздуха и поверхности). Это достигается с помощью специальных приборов, предназначенных для измерения излучения, исходящего от человеческого тела (счетчики или дозиметры для всего тела, счетчики для отдельных органов, например, для щитовидной железы) и/или процедур биоанализа (анализ мочи и кала).

До последнего времени отсутствовала информация о системе ограничения доз, годовых предельных дозах поглощения радионуклидов, принципах внутреннего дозиметрического контроля и интерпретации результатов измерения. Согласно общим принципам МКРЗ в отношении количественной оценки внутреннего облучения, программы дозиметрического контроля должны разрабатываться на основе применения указанных методов и осуществляться таким образом, чтобы получаемые результаты можно было использовать либо для первичной количественной оценки (полувековой ожидаемой эффективной эквивалентной дозы или ожидаемой эквивалентной дозы) и сравнения с первичными предельными значениями, либо для вторичной количественной оценки (поступление радионуклидов) и сравнения с пределом годового поступления (ПГП). Но последнее звено этой цепи – использование данных для преобразования результатов измерения в повседневной деятельности в дозу или поступление радиоактивного вещества – практически отсутствует. Предпринятые в 60-х годах попытки развернуть эту часть дозиметрической программы не имели успеха из-за недостатка технических средств.\*

\* См. *Evaluation of radiation doses to body tissues from internal contamination due to occupational exposure* (Оценка радиационных доз, полученных тканями тела в результате внутреннего загрязнения от профессионального облучения), доклад Комитета 4 МКРЗ, Публикация 10 МКРЗ, Pergamon Press, Оксфорд (1968 г.); и *The assessment of internal contamination resulting from recurrent or prolonged uptakes* (Оценка внутреннего загрязнения в результате периодических или продолжительных поглощений), доклад Комитета 4 МКРЗ, Публикация 10а МКРЗ, Pergamon Press, Оксфорд (1971 г.).

## Система ограничения доз

Система МКРЗ по ограничению доз основана на принципе контролирования риска, связанного с пребыванием на рабочем месте в течение одного года. Для применения этого принципа в системе ограничения доз МКРЗ ввела концепцию ожидаемой дозы и вывела значения ПГП на основе пределов для ожидаемой дозы, равных пределам годовой дозы.

Контроль за воздействием излучения на персонал включает требование относительно того, чтобы в течение года сумма эквивалентной дозы от внешнего облучения и ожидаемой эффективной эквивалентной дозы в результате поступлений радионуклидов была ниже соответствующего предела годовой дозы. Для каждого года необходимо рассчитывать ожидаемую эффективную эквивалентную дозу в результате поступления радионуклидов в данном году.

Если применение этого метода контроля дозы не вызывает особых проблем в отношении поступлений радионуклидов малой и средней продолжительности жизни, то в отношении попавших в организм долгоживущих радионуклидов дело обстоит сложнее, и оно требует дальнейшего изучения. В таких случаях фактически полученные в течение года в результате поглощения дозы сравниваются с пределами годовых доз. Совокупность доз за 50 лет, определяемая в ожидаемой дозе, предполагает контроль за связанным с этим риском для предполагаемой продолжительности жизни человека.

Альтернативная процедура расчета годовых эффективных эквивалентных доз не рекомендована, хотя такая процедура позволила бы персоналу поглощать за год радионуклидов в количестве, достаточном для того, чтобы в последующие годы использование их на рабочих местах могло быть ограничено. С этим связаны дополнительные проблемы в ведении учета, особенно при изменении персоналом места работы.

## Ожидаемая эквивалентная доза

Концепция ожидаемой эквивалентной дозы вызывает ряд проблем, связанных с учетом данных по облучению.

Специалист может подвергаться воздействию излучения либо от внешних источников, либо от попадающих в организм радиоактивных веществ. МКРЗ требует, чтобы дозы от всех источников рассматривались аддитивно и подчинялись требованию к пределам эквивалентных доз в отношении нестохастических и стохастических эффектов. Для такого поступления радиоактивных веществ требуется оценка эквивалентной дозы для каждого вида ткани в организме, подвергшейся значительному облучению. ПГП определяются на основе концепции „ожидаемой эквивалентной дозы“ (за 50 лет). Конкретные значения не могут быть оценены без дополнительного знания метаболизма радионуклидов. Это предполагает наличие *полной* информации о физических свойствах радионуклидов, включенных в процессы метаболизма (поглощение, удержание, распределение радионуклида и его дочерних

продуктов во всех тканях организма). Физические свойства (главным образом, характер и энергия испускаемого излучения) в достаточной мере изучены за длительный период. \* Что касается моделирования метаболизма, то за последние 20 лет в этой области достигнут значительный прогресс, о чем свидетельствуют изменения в знаниях за период времени, разделяющий выпуск Публикаций 2 и 30 МКРЗ.\*\*

Публикация 30 МКРЗ определяет ПГП в результате приема пищи и вдыхания воздуха для большого числа радионуклидов, что позволит предотвращать превышение предписываемых МКРЗ пределов доз для различных тканей. В публикации содержится информация о поведении радионуклида в организме (сообщается о функции удержания для каждого органа и вида ткани).

Собственно говоря, программы индивидуального дозиметрического контроля за внутренним воздействием излучения не могут основываться на модели и данных, характеризующих конкретные особенности метаболизма отдельного специалиста. О них невозможно знать заранее. А когда о них станет известно, то их использование (в различных программах для различных людей) будет неуместным для ситуаций с низкими уровнями облучения. Для таких ситуаций применяются общие модели.

Публикация 30 содержит также описание общих моделей метаболизма взрослого человека и моделей для отдельных химических элементов. Они используются для установления вторичных основных пределов внутреннего облучения персонала. Пределы годовых поступлений применяются для планирования защитных мер; они являются результатом выбора скорее консервативных, чем средних или реальных параметров и предположений. Они не всегда адекватно описывают экскрецию и раннюю стадию метаболизма, что не имеет (или имеет, но небольшое) значение для определения ПГП, но важно для осуществления дозиметрического контроля.

Однако простота системы МКРЗ и ее независимость от возраста и пола специалиста являются той привлекательной особенностью, которая может перевесить присущие ей недостатки.

Результаты дозиметрических измерений не дадут содержательной информации без соответствующей интерпретации, даже если речь идет об измерениях в исключительных обстоятельствах (прямые измерения радиоактивного йода в щитовидной железе или оценка насыщенной тритием воды в моче при равновесии после поступления). Для того, чтобы облегчить интерпретацию результатов измерения внутреннего загрязнения, Комитет 4 МКРЗ подготовил новую публикацию *Индивидуаль-*

\* *Radionuclide transformations: Energy and intensity of emission* (Трансформации радионуклидов: энергия и интенсивность эмиссии), Публикация 38 МКРЗ, *Annals of the ICRP*, тт. 11–13, Pergamon Press, Оксфорд (1983 г.)

\*\* *Recommendations: ICRP report of Committee 2 on permissible dose for internal radiation* („Рекомендации: отчет Комитета 2 МКРЗ о допустимой дозе внутреннего излучения“), 1959 г.; Публикация 2 МКРЗ, Pergamon Press, Оксфорд (1960 г.); и *Limits for intake of radionuclides by workers* („Пределы поглощения специалистами радионуклидов“), Публикация 30 МКРЗ часть 1, *Annals of the ICRP*, т. 2, № 3/4, Pergamon Press, Оксфорд (1979 г.)

ный дозиметрический контроль поступления радионуклидов у персонала: цель и интерпретация.\* Этот документ был принят главной комиссией МКРЗ.

В публикации рассматриваются принципы индивидуального дозиметрического контроля и использование производных эталонных уровней, а затем даются описание метаболических моделей, помогающих определить функции удержания и экскреции радионуклидов, и подробное объяснение методов дозиметрического контроля путем прямого измерения на человеке и проведения радиотоксикологического анализа экскрементов. Отдельно рассматривается трудная проблема наблюдения за облучением актинидами. Последняя часть общего раздела публикации касается программ дозиметрического контроля, основанных на синтезе рекомендаций, содержащихся в Публикациях 26, 30 и 35 МКРЗ, с учетом тех практических проблем, с которыми сталкиваются лица, ответственные за наблюдение за облученными людьми. С одной стороны, эти программы связаны с рутинными измерениями, относящимися к индивидуальному наблюдению за лицами, постоянное место работы которых подвергает их риску внутреннего облучения. С другой стороны, они включают специальный дозиметрический контроль, осуществляемый после аварии или при выполнении необычных работ, связанных со значительным риском облучения.

Интерпретация результатов измерения (так, измерение содержания радионуклидов в организме или отношение экскреции к дозе является основным элементом дозиметрического контроля) и решения по защите от облучения могут зависеть как от наблюдаемого человека, так и от места работы. Рекомендуется, однако, осуществлять четкую интерпретацию результатов измерения. В обычной дозиметрии достаточно рассмотреть стандартный метаболизм и дозиметрические модели с использованием биологических параметров, установленных для среднего индивидуума. Для нормальных рабочих условий этого, по-видимому, достаточно. Если же наблюдается повышение излучения или если происходит авария, серьезность которой подтверждается первыми результатами специальных измерений, то желательно быстрее и соответствующее случаю моделирование.

### Практические ограничения

Предлагаемые в Публикации 54 программы индивидуального дозиметрического контроля отвечают требованиям различных практических ограничений. В частности, они дают возможность правильно интерпретировать результаты измерения в случаях, когда облученное лицо работает короткое или длительное время, когда оно работает на одном месте или выполняет очень подвижную работу, и, наконец, когда условия облучения (т.е. время поступления) хорошо известны или очень неопределенны. В Публикации 54 представлен

оригинальный подход к решению этой проблемы с выбором интервала времени между двумя обычными измерительными тестами в целях ограничения ошибки в интерпретировании результатов, каким бы ни было число (как правило, неизвестное) периодов загрязнения. Такой выбор диктуется необходимостью улучшения организации режима обследования, могущего стать очень сложным на установках с большим персоналом. Другая проблема – установление таких правил интерпретирования и принятия решений, которые были бы просты для понимания и применения. Зачастую контроль за индивидуальным загрязнением является лишь частью работы тех лиц, которые отвечают за инициирование и осуществление такого контроля. Основу индивидуального наблюдения составляют производные эталонные уровни и некоторые простые правила по принятию решений в случае превышения этих уровней. Непосредственное сравнение результатов измерения с этими уровнями позволяет немедленно определить величину загрязнения и необходимые меры.

Приложение к Публикации 54 достаточно объемно. В нем содержатся данные, необходимые для индивидуального дозиметрического контроля за внутренним воздействием тех радионуклидов, с которыми обычно имеют дело в ядерной промышленности и исследованиях и сфере медицинского и фармацевтического применения. Рассматривается только облучение в результате вдыхания. Другие виды поступления радионуклидов выявляются при инцидентах, когда предпринимаются необходимые исследования и специальные меры в зависимости от особенностей каждого случая.

Дается описание метаболизма и эффекта возможной терапии с целью уменьшения содержания радионуклидов в организме. Рассматриваются различные изотопы, относящиеся к каждой из этих областей. Приводится перечень основных детектируемых эмиссий, сообщается о методах измерения с указанием пределов детектирования и, наконец, кратко освещаются коэффициенты доз (зиверты на вдохнутый беккерель), ПГП и производные концентрации в воздухе (ПКВ).

Дается подробная информация об обычном и специальном дозиметрическом контроле. Для каждого изотопа предлагается перечень интервалов между обследованиями при обычном контроле, позволяющих интерпретировать результаты измерения без чрезмерных ошибок. Данные по специальному контролю даются для первых семи дней после возникновения аварии. Каждый вид измерения сопровождается в Публикации 54 таблицей активности, измеряемой как часть поглощения и производных исследовательских уровней. Имеется информация о величинах удержания и экскреции для сохранения равновесия после хронического ежедневного поглощения активности, равной ПГП 365. Наконец, для каждого изотопа приводятся данные относительно его удержания и экскреции как части содержания радионуклидов в организме в виде кривых для 10 000 дней после вдыхания по трем размерам частиц.

Публикация 54 является прежде всего документом, предназначенным для специалистов по радиационной защите, применяющих публикуемые МКРЗ рекомендации по индивидуальному дозиметрическому контролю за внутренним загрязнением.

\* *Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: Design and interpretation*, доклад Комитета 4 МКРЗ, Публикация 54 МКРЗ, *Annals of the ICRP*, т. 9, № 4, Pergamon Press, Оксфорд (1988 г.)