

Т. О. Павленко¹, И. П. Лось¹,
В. Ф. Рязанцев²

¹ ГУ «Институт гигиены и медицинской экологии
им. А. Н. Марзеева АМН Украины», г. Киев, Украина
² Государственная инспекция ядерного регулирования
Украины, г. Киев, Украина

Современные требования к ограничению облучения техногенно-усиленными источниками природного происхождения (планируемая ситуация облучения)

Рассмотрены основные положения новой системы радиационной безопасности Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ), которые касаются облучения техногенно-усиленными источниками природного происхождения для планируемых ситуаций облучения. Дан сравнительный анализ требований новых «Основных стандартов безопасности» МАГАТЭ и действующей в Украине нормативной базы. Приведены результаты измерений и оценки возможных уровней облучения населения, обусловленных отходами с высоким содержанием естественных радионуклидов.

Ключевые слова: естественные радионуклиды, основные стандарты безопасности, норматив, облучение, планируемая ситуация облучения.

Т. О. Павленко, І. П. Лось, В. Ф. Рязанцев

Сучасні вимоги до обмеження опромінення техногенно-підсиленними джерелами природного походження (запланована ситуація опромінення)

Розглянуто основні положення нової системи радіаційної безпеки МКРЗ щодо техногенно-підсиленних джерел природного походження для планованих ситуацій опромінення. Надано порівняльний аналіз вимог нових «Основних стандартів безпеки» МАГАТЭ і української нормативної бази. Наведено результати вимірювань та оцінки ймовірних рівнів опромінення населення, обумовлених відходами з підвищеним вмістом природних радіонуклідів.

Ключові слова: природні радіонукліди, основні стандарти безпеки, норматив, опромінення, запланована ситуація опромінення.

© Т. О. Павленко, І. П. Лось, В. Ф. Рязанцев, 2011

Современная система радиологической защиты разделяет ситуации облучения на планируемые, существующие и аварийные для трех сценариев облучения: в производственных условиях, облучение население и медицинское облучение [1]. В основу современной классификации заложено новое понятие *источника* [1]. Под этим словом Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) подразумевает как одиночный радиоактивный источник, так и технологические операции или сложные производственные процессы. Определение «источника» зависит от контекста оценки ситуации облучения, выбора стратегии защиты, а также договоренностей с регулятором о приемлемости системы радиологической защиты [2]. Из данного понятия вытекают и основные принципы новой системы радиологической защиты [1]:

оправданность — любое решение, которое меняет существующую радиационную ситуацию, должно приносить больше пользы, чем вреда («источник» в этом случае связывает принцип оправданности со всеми ситуациями облучения);

оптимизация защиты — при вероятности подвергнуться облучению количество облученных людей и величина их индивидуальных доз должны быть сохранены на столь низком уровне, как это разумно достижимо, принимая во внимание экономические и социальные факторы (в этом случае «источник» также связывает принцип оптимизации со всеми ситуациями облучения);

ограничение дозы — суммарная доза любого индивидуума от регулируемых источников для запланированных ситуаций облучения, исключая медицинское облучение пациентов, не должна превысить референтные уровни и дозы, рекомендованные МКРЗ (этот принцип индивидуален и применяется только для запланированных ситуаций облучения).

Краеугольным камнем новой системы радиационной защиты МКРЗ является принцип оптимизации, т. е. признание факта, что вред здоровью может нанести любой уровень радиационного воздействия. Процедуры оптимизации позволяют разумно сбалансировать уровни радиационного облучения и меры по его уменьшению, учитывая финансовые и социальные аспекты проблемы, которые сложились на момент планирования системы защиты. [3].

Для реализации этого принципа МКРЗ вводит ряд новых понятий: референтный уровень, квота дозы (dose constraint), квота риска (risk constraint), репрезентативный человек и т. д.

Практическое применение этой системы радиационной защиты МКРЗ сегодня реализуется в новой версии «Основных стандартов безопасности» (Basic Safety Standards, в дальнейшем BSS) МАГАТЭ, которые активно обсуждаются в международных комитетах этой организации и проходят необходимые процедуры согласования.

В статье рассматриваются основные положения этого документа, которые касаются облучения техногенно-усиленными источниками природного происхождения в контексте приемлемости действующей международной и отечественной нормативной базы.

Облучение на рабочих местах. По определению МКРЗ, планируемые ситуации облучения — это ситуации, когда планируется оправданное использование радиоактивных источников. В данном случае система противорадиационной защиты может быть спланирована заранее [1]. Бывает и так, что аварийная или существующая ситуации облучения также становятся планируемыми. Например, радиоактив-

ное загрязнение земель в результате законченной практической деятельности или радиационной аварии рассматривается как сценарий существующего облучения. Однако работы по реабилитации таких территорий будут относиться к ситуации планируемого облучения, поскольку реализация контрмер может привести к новому облучению, которое уже является управляемым [1].

К планируемой ситуации облучения может относиться и облучение техногенно-усиленными источниками природного происхождения (ТУИПП), когда они являются неотъемлемой частью производственного процесса или технологии.

В новых BSS регулирование деятельности, при которой возможно облучение ТУИПП, аналогично правилам и требованиям, которые предъявляются к искусственным (индустриальным по определению НРБУ-97 [4]) источникам облучения.

Документом определен список производств, где возможно облучение ТУИПП: добыча и переработка редкоземельных элементов из монацита; производство тория из торий-содержащих продуктов; переработка руды тантала и ниобия; добыча и переработка нефти и газа; производство титанового пигмента; термическое производство фосфора; добыча и переработка циркония; производство фосфатов; цементное производство; коксохимические заводы; производство фосфорной кислоты; добыча и переработка железной руды; переработка олова и меди.

Для большинства перечисленных производств ограничения существовали и ранее. Например, глава VII Директивы Евроатома (European Basic Safety Directive) [5] определяет требования к системе контроля производственной деятельности, где рабочие могут переоблучиться (шахты, туннели, радонолечебницы и т. д.). Документ устанавливает дозовые пределы для рабочих (6 мЗв в год) и населения (1 мЗв в год) при условии, что активность естественных радионуклидов не превышает определенных значений для специфических отраслей производства — в этом случае вводятся требования к хранению материалов и обращению с отходами производства. В документе приведена таблица, в которой даны возможные уровни загрязнения оборудования природными радионуклидами. Например, содержание радия-226 в отложениях ила в трубах и на стенках хранилищ нефти может составлять от 1 до 100 кБк/кг при средних значениях в 4 кБк/кг; содержание радия-226 в отходах производства фосфатов усредненно составляет 1,5 кБк/кг при максимальных активностях в 100 кБк/кг. Глава содержит также рекомендации по обращению с такими отходами. Например, рекомендуется смешивать отходы с другими, инертными материалами, чтобы уменьшить уровни облучения, если такие действия оправданы и проводятся под контролем регулятора [5].

Новая версия BSS (последняя на данный момент версия 5, раздел 3 — планируемое облучение, п. 3.4 (а)) предлагает более жесткие подходы по ограничению облучения ТУИПП в производственных условиях. Она обязывает государства-участники МАГАТЭ, обладающие данными технологиями, ввести регулирующий контроль для отраслей промышленности и отдельных технологических процессов, если активность радионуклидов уранового и ториевого ряда превышает 1 Бк/г или активность калия-40 превышает 10 Бк/г. Иными словами, для данных производств или технологических процессов вводится обязательное лицензирование.

В НРБУ-97 [4] и ОСПУ-05 [6] приведенные выше сценарии облучения не рассматриваются. Последний по времени разработки документ — ОСПУ-05 — для ТУИПП

содержит только требования к дозовым ограничениям облучения на рабочих местах: «...если среднегодовые дозы облучения работников превышают 5 мЗв в год и не могут быть уменьшены, работники переводятся в категорию “персонал”». Других требований документ не содержит.

Проанализировав требования к дозовым пределам НРБУ-97 и BSS для ситуации планируемого облучения (табл. 1), можно сделать вывод, что они практически не отличаются.

Таблица 1. Сравнительный анализ дозовых пределов BSS и НРБУ-97 для планируемых ситуаций облучения

Категории облучения	НРБУ-97	BSS
<i>Индивидуальные пределы доз</i>		
Облучение населения	1 мЗв в год	1 мЗв в год
Профессиональное облучение, включая реабилитацию:	20 мЗв в год в среднем за 5 лет	20 мЗв в год в среднем за 5 лет
хрусталик	150 мЗв в год* ¹	150 мЗв в год* ²
кож	500 мЗв в год* ¹	500 мЗв в год* ¹
руки/ноги	500 мЗв в год* ¹	500 мЗв в год* ¹
поступление радионуклидов	20 мЗв в год* ³	20 мЗв в год* ⁴
беременные	2 мЗв в год на брюшную полость; 1 мЗв в год на плод	1 мЗв в год на плод
<i>Квоты доз*⁵</i>		
Облучение населения:	0,3 мЗв в год	0,3 мЗв в год
РАО	0,3 мЗв в год	0,3 мЗв в год
долгоживущие радиоактивные выпадения	0,3 мЗв в год и 1 мЗв в год	0,3 мЗв в год и 1 мЗв в год
продолжительное облучение	0,1 мЗв в год	0,1 мЗв в год
Если для общества выгодно:		
минимальная	0,1 мЗв	0,1 мЗв
переходная	1 мЗв	1 мЗв
приемлемая	1—10 мЗв	1—10 мЗв
максимальная	10 мЗв	10 мЗв
Профессиональное облучение	Менее 20 мЗв в год	Менее 20 мЗв в год

*¹ Эквивалентная доза

*² Эквивалентная доза

*³ Накопленная эффективная доза

*⁴ Накопленная эффективная доза

*⁵ Эффективная доза, если не указаны другие величины

В таблице приведены также квоты доз для населения, которые обусловлены облучением в результате хозяйственной и производственной деятельности человека, включая использование ТУИПП. Отметим, что в рамках НРБУ-97 данные пределы доз на ТУИПП не распространяются и применяются только для практической деятельности.

Облучение населения. В контексте планируемых ситуаций, население может облучаться в результате сбросов-выбросов, обусловленных практической деятельностью,

радиоактивными отходами. Облучение ТУИПП на рабочих местах, отходами хозяйственной деятельности с повышенным содержанием природных радионуклидов также относится к планируемым ситуациям облучения и оценивается по тому же сценарию, что и искусственные источники. Новая система противорадиационной защиты практически не вносит изменений в дозовые пределы действующей нормативной базы (НРБУ-97, ОСПУ-05); все старые подходы к ограничению облучения сохраняются, а предел дозы для населения составляет 1 мЗв в год.

Сегодня обсуждается квота дозы, верхний предел которой составляет 0,3 мЗв в год (BSS). Предполагается, что регуляторы смогут ввести более жесткие ограничения на стадии проектирования, когда защитные мероприятия только закладываются. Например, для новых АЭС, учитывая современные возможности технологий, рекомендуется квота дозы 0,15 мЗв в год. Этот критерий рекомендуется закладывать в проекты технологического оборудования. Обсуждения данного норматива на заседаниях Комитета стандартов по радиационной безопасности МАГАТЭ показали, что большинство стран приветствует такой подход. Международный опыт радиационной защиты показывает, что подобное решение проблемы ограничения облучения в дальнейшем позволит выделить зоны потенциальной опасности, применить к ним специальные мероприятия для минимизации доз облучения как в режиме нормальной эксплуатации, так и в аварийных ситуациях.

Техногенно-усиленные источники природного происхождения. Ситуация в Украине. Исследования содержания ТУИПП в отходах предприятий, которые добывают и перерабатывают полезные ископаемые в Украине, носят отрывочный характер. Тем не менее, если проанализировать их результаты и сложившуюся ситуацию, становится понятно, что проблема существует.

Наиболее показательным примером является процесс переработки фосфоритов, в результате которого концентрация радионуклидов в отходах производства увеличивается в 1,5–4 раза в зависимости от применяемой технологии. В советские времена на предприятия Украины фосфориты поставлялись с Кольского полуострова. Содержание в них только урана-238 составляло $(1,1 \div 2,0) \cdot 10^2$ кБк·кг⁻¹, в промышленных отходах — от $(1,6 \div 3,0) \cdot 10^2$ до $(4,4 \div 8,3) \cdot 10^2$ кБк·кг⁻¹. Для сравнения, по классификации твердых радиоактивных отходов (РАО) относительно удельной активности такие отходы были бы отнесены к категории низкоактивных РАО.

Последние годы украинские предприятия закупают фосфаты в Северной Африке. Исследования показали, что содержание урана-238 в марокканских фосфатах на порядок больше, чем в кольских. Следовательно, и отходы переработки этого сырья по активности могут соответствовать среднеактивным РАО.

В некоторых странах отходы таких производств используются для промышленного выделения урана. Например, в США, начиная с 1994 г., 33 % урана добывается из фосфатов. Более того, сегодня в этой стране существует государственная программа развития таких предприятий [7]. По оценкам экспертов из 1 млн т африканских фосфатов можно выделить порядка 100 т обогащенного урана, а это пятая часть годовой добычи урана США [8].

В Украине отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов сегодня не контролируются. Это относится не только к производству фосфатов, но и к предприятиям по переработке железной руды, золам тепловых

электростанций и т. д. В результате долгоживущие радионуклиды распространяются в окружающей среде как естественным образом (выветриванием, вымыванием дождями и др.), так и при использовании населением отходов при индивидуальном строительстве (в качестве подсыпок под фундамент, в виде наполнителей и т. д.).

В индустриальном строительстве также используются отходы других производств, но при жестком контроле конечной продукции. Например, для использования зол Ладыженской ГРЭС при производстве бетона, керамзитобетона, растворов для кладки, проводились исследования содержания природных радионуклидов в конечной продукции, а затем, по результатам этих исследований, определялись допустимые уровни содержания золы в новых строительных материалах. [9].

Отдельная проблема — ТУИПП в отходах нефтегазовой промышленности. При добыче, транспортировке, хранении нефти на внутренних поверхностях оборудования (насосно-компрессорные трубы, резервуары, шламы) оседают и накапливаются естественные радионуклиды (ЕРН). Максимальные удельные активности ЕРН в таких осадках могут составлять до $1,5 \cdot 10^7$ Бк·кг⁻¹ [10].

В Украине максимальные значения удельных активностей ЕРН в отходах зафиксированы на предприятии «Охтыркнефтегаз» — $36 \cdot 10^3$ Бк·кг⁻¹ при среднем значении порядка $18 \cdot 10^3$ Бк·кг⁻¹. Мощность экспозиционной дозы в местах хранения труб в среднем составляла порядка 41 мкР·ч⁻¹ при максимальных значениях 500 мкР·ч⁻¹. Хранение такого оборудования, его дезактивация могут стать причиной значительных дозовых нагрузок для обслуживающего персонала.

Выводы

Анализ соответствия существующей нормативной базы требованиям новой системы радиационной безопасности выявил круг задач, которые нужно решить в ближайшее время. В первую очередь необходимо:

1. Провести инвентаризацию предприятий Украины, на которых возможны повышенные дозы облучения персонала от техногенно-усиленных источников природного происхождения.
2. Провести аттестацию рабочих мест и исследование содержания природных радионуклидов на промышленных площадках и местах хранения исходного сырья и отходов производства.
3. Определить перечень предприятий, которые в соответствии с критериями МАГАТЭ попадают под регулирующий контроль.
4. Разработать нормативные документы для определения порядка лицензирования таких предприятий, а также правил радиационной безопасности при хранении и транспортировке отходов с повышенным содержанием естественных радионуклидов, правил безопасности при дезактивации оборудования.

Список литературы

1. Radiological protection//ICRP, Publ 103 — 2008. — <http://www.sciencedirect.com/science/journal/01466453>.
2. Scope of Radiological protection control measures// ICRP, Publ 104 — 2008. — <http://www.sciencedirect.com>

3. ICRP Publication 101. The optimisation of radiological protection: broadening the process // Annals of the ICRP. — 2006. — V. 36, № 2/3. — New York: Pergamon Press, 2006. — P. 104.
4. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): ДГН 6.6.1.-6.5.001-98 / Комітет з питань гігієнічного регламентування МОЗ України. — Офіц. вид. — К., 1998. — 135 с. — (Державні гігієнічні нормативи).
5. Radiation Protection 88. Recommendation for the implementation of Title VII of the European Basic Safety Directive (BSS) concerning significant increase in exposure due to natural radioactivity sources. — http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/publication/doc/088_en.pdf
6. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: Державні санітарні правила: ДСП 6.177-2005-09-02 / МОЗ України. — К., 2005. — 62 с.
7. Шаталов, В. В. Состояние, перспективы развития производства урана и потребностей ядерной энергетики / В. В. Шаталов, Р. Х. Садыков, М. И. Фазеуллин, И. Г. Абдульманов // Атомная наука и техника за рубежом. — 1997. — № 5. — С. 8-12.
8. Мулярчук, І. Ф. Оцінка мінеральної сировини за методом природної масової рівновартості / І. Ф. Мулярчук // Хімічна промисловість України. — 2000. — № 5. — С. 51-57.
9. Лось, И. П. Оценка радиоактивности строительных материалов, содержащих золу ГРЭС / И. П. Лось, А. М. Семенютин, В. П. Сабалдырь // Строительные материалы. — 1986. — № 5. — С. 23-24.
10. Новый справочник химика и технолога: Радиоактивные вещества. Вредные вещества. Гигиенические нормативы. — С.-Пб., 2003. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/11_radioaktivnye_veshchestva_yrednye_veshchestva_gigienicheskie_normativy/5042

Надійшла до редакції 13.07.2011 р.