

Л.А. Ильин¹, Я.Э. Кенигсберг², И.И. Линге³, И.А. Лихтарев⁴,
М.Н. Савкин³

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКУЮ АВАРИЮ

L.A. Ilyin¹, Ja.E. Kenigsberg², I.I. Linge³, I.A. Likhtarev⁴, M.N. Savkin³

Radiation Protection of the Population in Response to the Chernobyl Accident

РЕФЕРАТ

ABSTRACT

Цель: Анализ радиологических аспектов аварийного реагирования, в т.ч. числе гигиенических критериев радиационной защиты населения в различных фазах аварии, радиационного зонирования, достижений и недостатков предпринятых мер, сравнения научного базиса, использованного для принятия государственных решений, с современными подходами и критериями.

Материал и методы: Исследования были выполнены путем изучения опыта осуществления конкретных мероприятий по локализации аварийного источника на атомной станции и радиационной защите населения в первые послеаварийные годы, в условиях реально существовавшей к моменту аварии системы принятия решений в чрезвычайных ситуациях.

Результаты: Сформулированы основные результаты и радиологические последствия противоаварийных работ по локализации аварии на промплощадке и в 30-км зоне. Оценена степень безопасности аварийных радиационно-гигиенических регламентов для ликвидаторов. Рассмотрена эффективность ключевых мер по защите населения на ранней фазе аварии: укрытие населения, эвакуация населения, йодная профилактика. Проанализированы процессы радиационного зонирования территории на основе дозового подхода (Л.А. Ильин, Ю.А. Израэль) — важнейшего мероприятия, реализованного в промежуточной и поздней фазах аварии. Подробно рассмотрено в практическом плане одно из основных краткосрочных и долгосрочных мероприятий — гигиеническая регламентация содержания радионуклидов в пищевых продуктах.

Выводы: За исключением йодной профилактики, меры по радиационной защите населения оказались своевременными, что позволило избежать детерминированных радиологических эффектов облучения и снизить отдаленные последствия. Позднее введение йодной профилактики потребовало проведения масштабных медицинских мероприятий на загрязненных территориях, связанных с ранней диагностикой и лечением пострадавших. Меры радиационной защиты на позднем этапе аварии оказались избыточными и перестали быть приоритетными в сравнении с другими направлениями реабилитации.

Ключевые слова: радиационная защита, население, дозы облучения, нормирование, допустимые уровни, пищевые продукты

Purpose: The analysis of the radiobiological aspects of emergency response: hygienic criteria for radiation protection of the population in various phases of the accident, radiation zoning, the achievements and shortcomings of the measures taken, comparison of the scientific basis, used for government decision-making, with modern approaches and criteria.

Material and methods: The study was carried out by studying the experience of the implementation of specific actions for localization of the source at the nuclear plant and radiation protection of the population in the first post-accident years, under the condition of really existed decision-making system for emergency situations at the time of the accident.

Results: The basic results and radiological consequences of the emergency work for accident localization at the site and in a 30-km zone are formulated. The degree of safety of emergency radiation-hygienic regulations for the liquidators was estimated. Efficiency of the main ways of population protection in the early phase of the accident was investigated: public shelter, population evacuation, iodine prophylaxis. Processes of radiation zoning on the basis of dose approach (L.A. Ilyin, Y.A. Izrael) — the most important remedies implemented in the intermediate and late phases of the accident were analyzed. It was discussed in detail, in practical terms, one of the main short-term and long-term remedies — hygienic regulation of the content of radionuclides in food.

Conclusion: With the exception of iodine prophylaxis, remedies for public radiation protection were timely, helped to avoid deterministic effects of radiological exposure and reduces the long-term consequences. Later, the establishment of the iodine prophylaxis would require a large-scale of health care operations in contaminated areas associated with early diagnosis and treatment of victims. Activities of radiation protection at a late stage of the accident were excessive and ceased to be priority in comparison to other directions of rehabilitation.

Key words: radiation protection, population, radiation dose, standards, permissible levels, food products

Введение

Анализ защитных мероприятий, осуществленных после чернобыльской аварии, неоднократно проводился как авторитетными национальными и международными организациями, так и непосредственными участниками этих событий [1–8]. Тем не менее, уроки Чернобыля остаются актуальными для перспективных

целей: создания эффективных систем аварийной готовности и аварийного реагирования, сохранения и передачи накопленного практического опыта проведения долгосрочных мер радиационной защиты.

Рассматривая ход осуществления конкретных мероприятий по предотвращению катастрофического развития событий на АЭС, локализации аварий-

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва. E-mail: fmbsc-fmba@bk.ru

² Национальная комиссия по радиационной защите Белоруссии (НКРЗ)

³ Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

⁴ Институт радиационной защиты, Киев

¹ A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia. E-mail: fmbsc-fmba@bk.ru

² National Committee on Radiation Protection of Belarus, Minsk, Belarus

³ Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ Radiation Protection Institute, Kiev, Ukraine

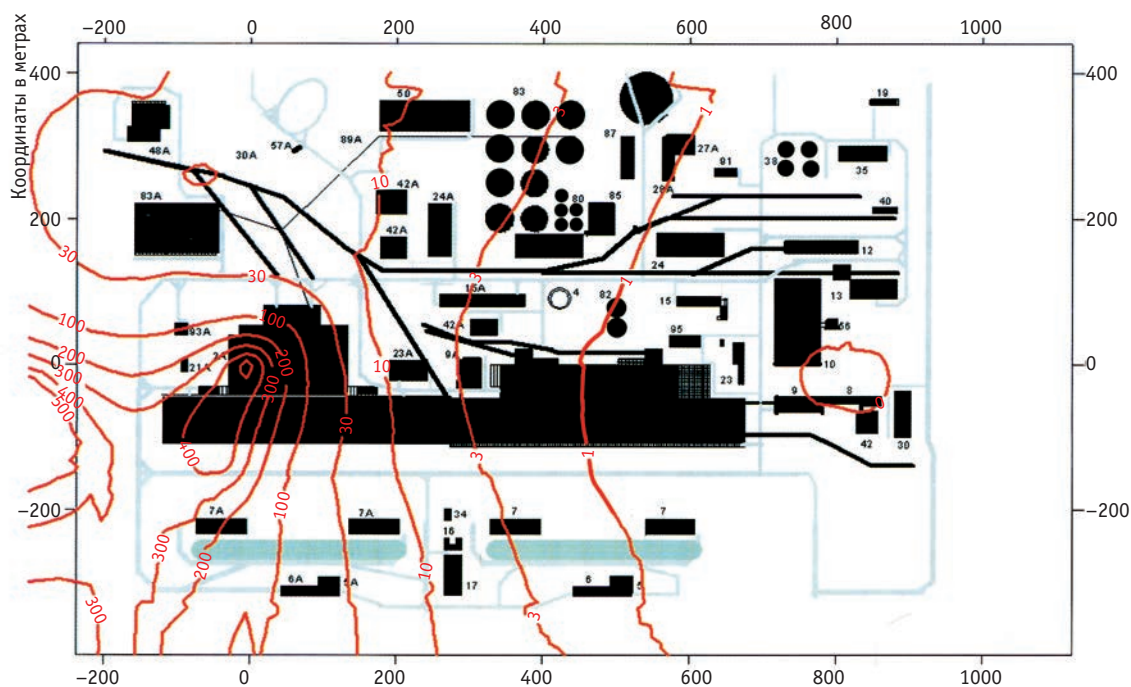


Рис. 1. Радиационная обстановка в первые сутки после аварии (мощность дозы гамма-излучения, Р/ч)

ного источника и радиационной защите населения в первые послеаварийные годы, нельзя абстрагироваться от реально существовавшей к моменту аварии системы государственного управления и механизмов принятия решений в чрезвычайных ситуациях, которая основывалась на строгой вертикали власти и режиме секретности в области атомной энергетики и промышленности.

Целью настоящего сообщения является рассмотрение только радиологических аспектов аварийного реагирования: гигиенических критериев радиационной защиты населения в различных фазах аварии, радиационного зонирования, достижений и недостатков предпринятых мер и сравнения научного базиса, использованного для принятия государственных решений, с современными подходами и критериями.

Радиационная защита участников ликвидации последствий аварии

Можно выделить четыре характерных этапа работ на промплощадке ЧАЭС в первый год:

- 1-й — 26 апреля (длительностью 15 ч);
- 2-й — 26 апреля — 6 мая (10 сут);
- 3-й — 7 мая — 31 мая (25 сут);
- 4-й — июнь—ноябрь (6 мес).

На 1-м этапе (до прибытия Правительственной комиссии) силами военизированной пожарной части (ВПЧ-2) были ликвидированы многочисленные (более 30) возгорания на крыше реактора и машзала. Некоторые из этих возгораний перекинулись на

машзал, и через кабельные проемы огонь стал распространяться в направлении III блока. К 2 ч 10 мин были ликвидированы наиболее крупные очаги пожара на крыше машзала, к 2 ч 30 мин взяты под контроль очаги на крыше реакторного зала, к 4 ч 50 мин утра большая часть очагов пожара была ликвидирована [7]. На объекте работало 250 пожарных, из которых 69 непосредственно участвовали в тушении пожара. Эти героические действия стоили жизни шести пожарным.

Оперативный персонал IV блока в это время решал множество задач, связанных с обеспечением работоспособности сохранявшихся систем и оборудования, предотвращением развития аварии на наиболее опасных участках машзала, где размещались горючие и взрывоопасные источники, и подачей охлаждающей воды в реактор. Отсутствие аварийного дозиметрического контроля персонала в исключительно тяжелой радиационной обстановке (рис. 1) привело к его переоблучению в клинически значимых дозах. Именно на 1-м этапе сформировались все прямые радиационные поражения чернобыльской аварии (острая лучевая болезнь).

На 2-м этапе основной задачей стала борьба с огнем и интенсивными выбросами радиоактивных веществ. В общей сложности в реактор было сброшено около 5 тыс. тонн различных материалов:

- 2400 т свинца (для охлаждения топлива);
- 40 т карбида бора (для предупреждения возникновения самопроизвольной цепной реакции деления (СЦР));

— 800 т доломита (для выделения углекислого газа с целью уменьшения горения графита);

— 1800 т песка и глины (для фильтрации радиоактивного выброса).

Кроме того, для охлаждения активной зоны осуществлялась подача воды через остатки аварийных систем охлаждения.

Другая проблема срочного реагирования состояла в предотвращении прожигания опорной плиты реактора и попадания расплава в наполненные радиоактивной водой (как предполагалось) подреакторные помещения. С этой целью был проложен туннель под разрушенный реактор, была откачана вода и создана система охлаждения опорной плиты реактора жидким азотом.

До настоящего времени нет единого мнения специалистов об эффективности столь интенсивных работ в части снижения ядерной опасности активной зоны и выбросов радионуклидов.

Так или иначе, 6 мая основной неуправляемый выброс во внешнюю среду закончился.

На 3-м этапе были приняты и начали реализовываться стратегические решения по преодолению последствий аварии. Генеральный курс заключался в интенсификации работ (в первую очередь, дезактивационных), направленных на восстановление деятельности ЧАЭС. Это потребовало вовлечения в процесс значительных людских и материальных ресурсов. Следует привести выдержку из Постановления ЦК КПСС и СМ СССР [9] и принятый график выполнения работ (табл. 1).

Таблица 1

График выполнения работ по дезактивации и их результаты [9]

Объект	Планируемые сроки	Результат
Энергоблоки I и II с внешними производственными зданиями и сооружениями	07.1986 г.	Блок I пущен в октябре 1986 г. Блок II пущен в октябре 1986 г.
Энергоблок III Территория вокруг блока IV	08.1986 г. 09.1986 г.	Блок III пущен в декабре 1987 г. Объект «Укрытие» сдан в ноябре 1986 г. Радиационная обстановка улучшилась в конце 1987 г.
Площадка строительства блоков V и VI	10.1986 г.	Вопрос о завершении строительства в последующем не поднимался
Зона временного выселения (по согласованию с СМ УССР и СМ БССР)	09.1986 г.	Резьвакуации населения не произошло

Таблица 2

Оценки эффективных доз внешнего облучения, полученных ликвидаторами в 30-км зоне в 1986—1987 гг. [10]

Группа	Число работников (ликвидаторов)		Средняя доза, мЗв		Коллективная доза, чел×Зв	
	1986	1987	1986	1987	1986	1987
Персонал АЭС	2358	4498	87	15	210	70
Строители	21500	5376	82	25	1760	130
Транспортные работники, охрана	31021	32518	6,5	27	200	870
Военные	61762	63751	110	63	6800	4000
Работники с других АЭС		3458		9,3		30
Суммарные или средние оценки за год	116641	109601	77	47	8970	5100
Суммарные или средние оценки	226242		62		14070	

«В целях ускорения дезактивационных работ в зоне Чернобыльской АЭС ЦК КПСС и СМ СССР постановляют: ускорить развертывание соединений, частей и подразделений, призвать из запаса на специальные учебные сборы сроком до 6 месяцев необходимое количество военнообязанных... Призыв военнообязанных осуществлять сверх лимитов, установленных Министерству обороны...»

Сравнение планируемых сроков и результатов с фактическими показывает, что вся сложность проблемы раскрывалась постепенно, некоторые цели так и остались нереализованными.

Наиболее масштабными и затратными на 4-м этапе стали сооружение объекта «Укрытие», дезактивация промплощадки и других объектов 30-км зоны и строительство гидротехнических сооружений.

В течение 1986—1987 гг. к работам в 30-км зоне были привлечены около 230 тыс. человек, в т.ч. более 55 % военнослужащих. Оценка средних доз облучения, полученных различными контингентами ликвидаторов, дана в табл. 2 [10].

В упрощенном виде результаты и последствия деятельности по локализации аварийного источника показаны в табл. 3.

Действовавшие к моменту чернобыльской аварии Нормы радиационной безопасности (НРБ-76) допускали планируемое повышенное облучение персонала при ликвидации последствий аварии в 2 раза выше предельно допустимой дозы (5 бэр в год) в каждом отдельном случае (однократном вмешательстве) или в 5 раз на протяжении всего периода работы. Правительственная комиссия приняла решение

Таблица 3

Основные результаты и последствия противоаварийных работ по локализации аварии на промплощадке и в 30-км зоне

Этап	Итоги	Последствия
I	Предотвращение катастрофического развития аварии Остановлен III энергоблок	Облучение оперативного персонала и пожарных в высоких (клинически значимых) дозах
II	Остановлены I и II энергоблоки с глубокой консервацией Прекращение аварийного выброса	Нарастание интенсивности работ Высокие дозовые нагрузки на персонал
III	Дезактивация зданий и территории промплощадки Принятие стратегических решений и графика работ	Образование специфической социальной группы — ликвидаторов Неэффективная организация индивидуального дозиметрического контроля
IV	Сооружение объекта «Укрытие» Создание инженерно-технических барьеров (гидротехнических сооружений) и проведение водоохранных мероприятий	Высокие дозовые нагрузки на ликвидаторов. Существенные экономические и трудовые затраты при низкой эффективности водоохранных мер. Подтопление некоторых территорий

установить на время проведения работ в 1986 г. планируемое повышенное облучение до 25 бэр (250 мЗв). Министерство здравоохранения СССР закрепило это решение 12 июля 1986 г., приняв «Временные санитарные требования безопасности при выполнении работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС».

В 1987 г. пределы годовой дозы были снижены до 0,05 и 0,1 Зв в зависимости от вида работ, выполняемых на промплощадке. Однако для ограниченного числа ликвидаторов, осуществлявших исключительно важные виды работ, Министерство здравоохранения СССР могло разрешать облучение до 0,25 Зв. В 1988 г. был установлен предел дозы, равный 0,05 Зв для всех гражданских ликвидаторов, за исключением тех, которые участвовали в дезактивации машинного зала внутри объекта «Укрытие»; для них был установлен годовой предел дозы в 0,1 Зв. С 1989 г. для всех без исключения работников был принят годовой предел дозы 0,05 Зв.

При оценке степени безопасности аварийных радиационно-гигиенических регламентов для ликвидаторов правомерен вопрос о медицинских радиологических последствиях облучения этого контингента. Во-первых, следует еще раз констатировать, что тяжелые детерминированные эффекты (лучевые поражения) не были зарегистрированы (исключая 134 случая острой лучевой болезни среди аварийного персонала и пожарных). Во-вторых, повышенный выход наследственных эффектов у потомков ликвидаторов не выявлен. В-третьих, известно, что среди злокачественных новообразований лейкозы являются наиболее чувствительным и объективным индикатором облучения, т.к. имеют максимальный радиационный риск и минимальный латентный период. По фактическим данным Российского национального радиационно-эпидемиологического регистра, 55 заболеваний лейкозами у ликвидаторов обусловлены радиационным фактором. При этом превышение спонтанного уров-

ня лейкозов отмечено у лиц, получивших дозу свыше 150 мЗв [12].

Современные международные и отечественные нормативные документы рассматривают облучение персонала сверх дозовых пределов как исключительную меру, оправданную только спасением людей и предотвращением катастрофического развития событий. С этой точки зрения, масштабные дезаквационные работы, строительство объекта «Укрытие» и другие работы с современных воззрений следовало бы проводить с соблюдением дозового предела. Гипотетически предполагая применение такого ограничения дозы, в 1986 г. для реализации принятых стратегических решений партии и правительства потребовалось бы привлечение к работам по ЛПА дополнительно сотен тысяч людей, не обладающих опытом работы в радиационно опасных условиях. Очевидно, такая мера привела бы к еще более тяжелым социальным последствиям.

Мероприятия по защите населения

Основные цели радиационной защиты населения в ранней фазе аварии достаточно четко определены. Это, в первую очередь, предотвращение детерминированных эффектов. Затем снижение риска возникновения отдаленных последствий облучения путем проведения защитных мероприятий, особенно в отношении наиболее уязвимого населения. И, наконец, как показал опыт аварии на американской АЭС Three Mile Island в 1979 г. и, тем более, чернобыльская авария, — смягчение социально-психологических последствий вмешательства. Необходимыми условиями реализации этих целей являются:

- оперативный контроль радиационной обстановки;
- действующие критерии вмешательства;
- установленный порядок принятия решений;
- система оповещения и продуманная информационно-разъяснительная полигика.

Хотя в настоящее время мировая система контроля и коммуникаций перешла в новое качество, тем

не менее, радиационный контроль к моменту чернобыльской аварии был достаточно развит, имел четкие организационные структуры. Были установлены отечественные критерии для принятия решений по защите населения в случае аварии на ядерном реакторе [13, 14] (первые — за 15 лет до чернобыльской аварии).

Как известно, среди ключевых мер защиты населения на ранней фазе аварии выделяют: укрытие, эвакуацию и йодную профилактику.

Укрытие населения

Укрытие рекомендуется использовать на срок не более 1–2 сут как превентивную меру в период радиоактивных выпадений. Критерии вмешательства для этого мероприятия приведены в табл. 4.

Таблица 4

Критерии вмешательства для укрытия

Год установления	Параметр	Уровень А	Уровень Б
1983 (СССР)	Не устанавливались		
1996 (МАГАТЭ)	Предотвращаемая доза за 2 сут	10 мЗв	
1997–1999 (НРБУ, НРБ-99)	Предотвращаемая доза за 10 сут	5 мГр	50 мГр

Из-за отсутствия оповещения населения, как главного условия современного проведения укрытия, эта мера практически не проводилась, хотя встречаются указания о подобной рекомендации, сделанной 26 апреля 1986 г., и в частности, об отмене уроков физкультуры на открытом воздухе в некоторых школах Припяти. На основании данных о дозах облучения можно предположить, что эта мера могла бы дать эффект порядка 100 чел.-Зв (до эвакуации). С современных позиций и критериев укрытие целесообразно использовать как превентивную меру в радиусе 3–10 км даже при отсутствии подтверждающих радиационных

измерений в случае возникновения нештатных событий на атомной станции.

Эвакуация населения

До чернобыльской аварии были установлены двухуровневые критерии эвакуации населения (табл. 5).

Таблица 5

Критерии вмешательства для эвакуации

Год установления	Параметр	Уровень А	Уровень Б
1983 (СССР)	Ожидаемая доза за 7 сут	250 мГр	750 мГр
1996 (МАГАТЭ)	Предотвращаемая доза за 7 сут	50 мЗв	
1997–1999 (НРБУ, НРБ-99)	Предотвращаемая доза за 10 сут — на все тело — на щитовидную железу	50 мГр 500 мГр	500 мГр 5000 мГр

Последовательность эвакуации (точнее, эвакуации и отселения) в 1986 г. приведена в табл. 6.

Из табл. 6 следует, что в течение первых двух суток после аварии было эвакуировано около 50 тыс. человек (Припять, ж/д станция Янов). В последующие 10 сут было эвакуировано сельское население 30-км зоны и Чернобыля — также около 50 тыс. человек. Последующие этапы отселения (май–июнь) и (август–сентябрь) относились к сельским населенным пунктам вне 30-км зоны с учетом сложившейся радиационной обстановки. На этих этапах было отселено примерно по 8 тыс. человек. Фактически основанием для эвакуации населения после аварии на ЧАЭС служила не только реальная возможность превышения уровней вмешательства, но и неопределенность развития аварии на IV блоке (до 6 мая), и возможная угроза парового взрыва, а также возможное превышение временного предела дозы 100 мЗв год в населенных пунктах последней очереди эвакуации.

Таблица 6

Эвакуация населения в 1986 г.

	Количество населенных пунктов, расположение	Дата эвакуации	Количество эвакуированных
Белоруссия	51 деревня из 30-км зоны 28 деревень вне 30-км зоны 29 деревень вне 30-км зоны Итого 108 деревень	2–7 мая 3–10 июня август	11358 6017 7350 24725
Россия	4 деревни Красногорского района Брянской области	август	186
Украина	г. Припять ж/д станция Янов с. Бураковка 15 сел из 10-км зоны г. Чернобыль 43 села из 30-км зоны 8 сел вне 30-км зоны 4 села вблизи 30-км зоны с. Бобер Итого 75 населенных пунктов	27 апреля 27 апреля 30 апреля 3 мая 5 мая 3–7 мая 14–31 мая 10 июня–16 августа сентябрь	49360 254 226 9864 13591 14542 2424 434 711 91406
Всего по СССР	Всего 187 эвакуированных населенных пунктов		116317

Сводные оценки доз внешнего облучения, полученных населением до эвакуации, приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Фактические дозы внешнего облучения
(до эвакуации)**

	Индивидуальная доза, мЗв		Коллективная доза, чел.-Зв
	Средняя	Максимальная*	
Белоруссия	31	210	770
Украина	17	200	1500
в т.ч. г. Припять	13	50	670

Примечание:

* Значение 99 % процентиля распределения индивидуальных доз

Достаточно эффективное купирование наибольших ожидаемых доз за счет эвакуации сельского населения Белоруссии иллюстрируется на рис. 2.

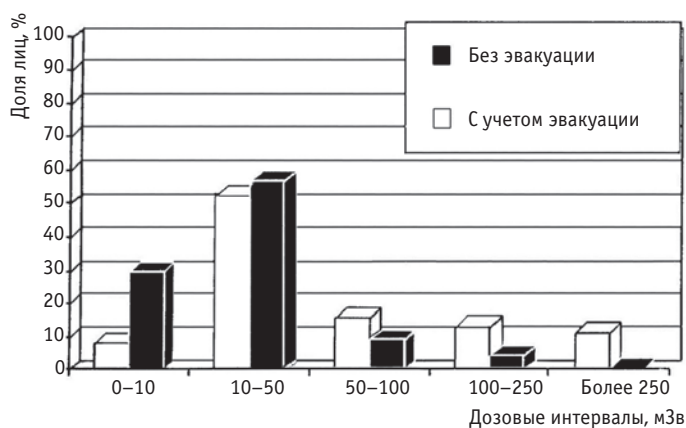


Рис. 2. Распределение ожидаемых и фактических доз внешнего облучения (Белоруссия — 24 725 чел)

Среди 24 725 эвакуированных лиц из Белоруссии дозы выше 250 мЗв (нижнего уровня вмешательства), по расчетам, получили около 160 человек. Если бы эвакуации не было, то число таких лиц могло составить примерно 2700 человек.

В целом с учетом эвакуации в Белоруссии и на Украине реализованная коллективная доза внешнего и внутреннего облучения (без дозы на щитовидную железу) составила 4000 чел.-Зв, предотвращенная коллективная доза — 10 000 чел.-Зв. Из 116 тыс. человек лишь около 500 получили дозу в диапазоне 0,25–0,75 Зв.

Таким образом, основные результаты эвакуации заключались в следующем: среди населения не зарегистрировано случаев острой лучевой болезни; до сих пор не установлена более высокая онкологическая заболеваемость (исключая рак щитовидной железы) у эвакуированных в сравнении с остальным населением.

Йодная профилактика

Как отмечалось выше, первые критерии и инструкции по проведению йодной профилактики были установлены в 1970 г. [13]. Сравнение действовавших к 1986 г. критериев [14] с современными приведено в табл. 8.

Таблица 8

Критерии вмешательства

Год установления	Параметр	Уровень А	Уровень Б
1983 (СССР)	Ожидаемая доза на ЩЖ	250–300 мГр	2500 мГр
1996 (МАГАТЭ)	Предотвращаемая доза на ЩЖ	100 мГр	
1997–1999 (НРБУ, НРБ-99)	Предотвращаемая доза на ЩЖ	Взрослые	
		250 мГр	2500 мГр
		Дети	
		100 мГр	1000 мГр

Международные рекомендации ориентированы, главным образом, на снижение доз облучения щитовидной железы (ЩЖ) за счет ингаляционного поступления радиоизотопов йода. Предполагается, что купирование пищевого пути поступления следует проводить за счет ограничения потребления загрязненных пищевых продуктов. Однако в специфических условиях чернобыльской аварии, когда оперативных поставок чистых продуктов в сельские населенные пункты не было, йодная профилактика должна была ориентироваться и на купирование поступления ¹³¹I с пищевыми продуктами.

Известно, что защитный эффект приема стабильного йода при ингаляционном пути поступления радиоизотопов йода составляет 100 раз (прием за 6 часов до ингаляции) и 10 раз (прием во время ингаляции).

Кратности снижения дозы на щитовидную железу при задержке йодной профилактики для перорального варианта поступления даны в табл. 9.

Таблица 9

**Эффективность йодной профилактики
при различных сроках ее проведения**

Задержка профилактики, сут	1	3	6	10	15
Кратность снижения	12	4	2	1,4	1,2

Указанные закономерности снижения доз при проведении йодной профилактики диктовали проведение первоочередной профилактики в ближней зоне ЧАЭС. Ретроспективные оценки показали, что зона экстренной профилактики для купирования ингаляционной составляющей и основном укладывалась в 30-км зону ЧАЭС (рис. 3), а зона возможной йодной профилактики по пероральному пути примерно соответствовала плотности загрязнения территории ¹³⁷Cs — 2 Ки/км² для детей и 15 Ки/км² для взрослых.

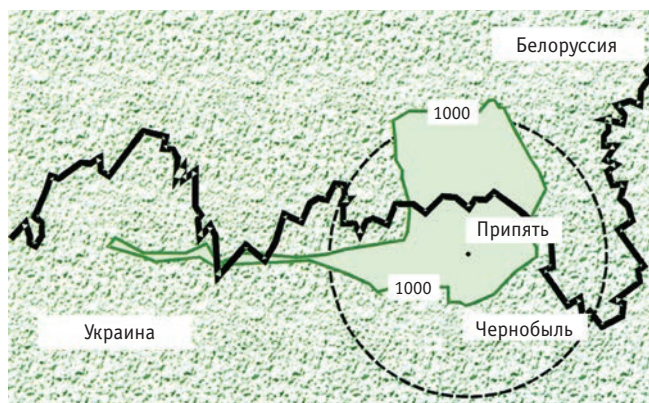


Рис. 3. Зона экстренной профилактики (ретроспективно)
 — изолиния выпадений ^{131}I 1000 Ки/км² (37 МБк/м²)
 по состоянию на 27 апреля 1986 г.

Для первых официальных заявлений о масштабах проведения йодной профилактики аварии на ЧАЭС характерно серьезное завышение масштабов и эффективности ее проведения. По линии министерств здравоохранения были даны следующие оценки: йодной профилактикой охвачено 5 млн человек, в т.ч. 1,6 млн детей. К сожалению, более поздние исследования не подтверждают этих оценок, по крайней мере, по отношению к апрелю и маю 1986 г. На складах Припяти и Чернобыля до аварии был заложен достаточный запас йодида калия, но решение на проведение йодной профилактики жителей 30-км зоны было принято с опозданием из-за нерешительности местных органов власти. Киевский облздравотдел принял решение по йодной профилактике только 6 мая. В РСФСР в период с июня до середины августа 1986 г. йодной профилактикой было охвачено 71 930 человек, в т.ч. 25 тыс. детей. Совершенно очевидно, что такие поздние сроки йодной профилактики предопределили ее нулевую эффективность.

Достаточно убедительны факты проведения йодной профилактики в г. Припять, где по оценкам йодной профилактикой было охвачено 70 % населения, в т.ч. с 26 апреля — 60 %.

Реальная эффективность йодной профилактики по кратности снижения дозы приведена в табл. 10.

Таблица 10

Фактическая эффективность йодной профилактики (кратность снижения дозы)

г. Припять	
Двукратный прием	2,3 раза
Однократный прием	1,6 раза
Эвакуированные сельские пункты	Не более 1,4 раза для детей
Загрязненные территории	Незначительная (из-за задержки проведения и неполного охвата)

В итоге реализованные дозы на ЩЖ (средние у детей до 3 лет) составили: для эвакуированных сел — 3,6–4,3 Гр; для наиболее загрязненных областей 0,2–2,0 Гр.

Таким образом, существенная задержка в принятии решения об оповещении населения, обеспечении препаратами стабильного йода и отсутствие этапности и приоритета проведения йодной профилактики в сельских населенных пунктах привели к ее низкой эффективности.

Чернобыльский опыт показывает, что в случае аварий на реакторных установках необходимо иметь:

- запасы препаратов стабильного йода, в т.ч. оперативные, размещенные как в непосредственной близости от опасных объектов (для предотвращения ингаляционного поступления), так и стратегические, которые могут быть доставлены в район аварии в течение первых суток;
- схемы, процедуры и инструкции по порядку распространения и учета применения препаратов стабильного йода среди населения в чрезвычайной ситуации;
- процедуры регулярной проверки дееспособности планов, схем и инструкций на случай аварии на АЭС.

Процессы радиационного зонирования

Важнейшим методологическим подходом, реализованным в промежуточной и поздней фазах аварии, было радиационное зонирование территории на основе дозового подхода, по значениям измеряемых радиометрических и дозиметрических величин (Л.А. Ильин, Ю.А. Израэль).

Выделение территории с различными уровнями ожидаемых доз облучения населения было направлено на рациональное и своевременное планирование оперативных и долгосрочных контрмер.

Для зонирования по внешнему облучению было предложено использовать среднее значение мощности дозы гамма-излучения на открытой местности, приведенное к 10 мая 1986 г. Выбор данного параметра в качестве базового определялся двумя факторами:

- информационной полнотой и достоверностью данных по мощности дозы во всех населенных пунктах;
- простой связью между мощностью дозы и годовой дозой внешнего облучения.

Первоначально оценивалось, что значению мощности дозы $1 \text{ мР} \times \text{ч}^{-1}$ на 10.05.1986 соответствовала годовая доза внешнего облучения на критическую группу населения 100 мЗв.

Были установлены следующие зоны:

$> 20 \text{ мР} \times \text{ч}^{-1}$ — зона отчуждения, территория, с которой население эвакуировалось навсегда;

5–20 мР×ч⁻¹ — зона временной эвакуации, территория, на которую предполагалось вернуть жителей по мере нормализации радиационной обстановки;

3–5 мР×ч⁻¹ — зона жесткого контроля, территория, с которой проводился организованный вывоз детей и беременных в чистые районы страны на летний период 1986 г.

Для зонирования по внутреннему облучению в конце мая было предложено использовать среднюю плотность поверхностного загрязнения почвы в населенном пункте долгоживущими биологически значимыми нуклидами ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ^{239,240}Pu.

Численные значения критериев по плотности поверхностного загрязнения составили 5,55×10⁵ Бк/м² по ¹³⁷Cs, 1,11×10⁵ Бк/м² по ⁹⁰Sr и 3,7×10³ Бк/м² по ^{239,240}Pu.

В последующие годы эти критерии были использованы без изменений и дополнительных обоснований в союзном и республиканских законах о социальной защите граждан и соответствующих концепциях для определения границ зоны отселения или отчуждения. Между тем, изначальные условия применения плотностей радиоактивного загрязнения местности в качестве производных критериев отражали специфику отечественного радиационного нормирования к 1986 г. — по величине ожидаемой годовой эквивалентной дозы в критическом органе для критической группы населения, а не средней эффективной эквивалентной дозы, как было принято с 1991 г. (впоследствии — средней эффективной дозы).

Выбор указанных выше значений базировался на предшествующем опыте. В отношении ¹³⁷Cs принималось, что загрязнение пищевых продуктов (и, в первую очередь, молока) в первый год после аварии определяется аэральным путем загрязнения, а во втором — почвенным путем с учетом радиоэкологических особенностей Украинско-Белорусского Полесья, обуславливающих высокую подвижность цезия. Первоначальные оценки доз внутреннего облучения в первый год после аварии от ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs в расчете на 1 Ки/км² (37 кБк/м²) ¹³⁷Cs составляли 6,2 мЗв/год при постоянном проживании и 2,8 мЗв/год при временном отселении на чистые территории с 10-х по 128-е сут (5 мая — 1 сентября) после аварии. Таким образом, плотности загрязнения 15 Ки/км² (555 кБк/м²) соответствовали дозы внутреннего облучения примерно 100 мЗв/год при постоянном проживании и 50 мЗв/год при временном выезде.

Выбор границы 3 Ки/км² (111 кБк/м²) по ⁹⁰Sr определялся исходя из опыта аварии на ПО «Маяк» (1957 г.), где в качестве границы проживания населения без каких-либо ограничений (в терминологии тех лет — границы санитарно-защитной зоны) было установлено значение 2 Ки/км². Первоначальное обосно-

вание этого уровня исходило из величины предельно допустимого содержания ⁹⁰Sr в организме человека, равной 1 мкКи (37 кБк), при переходе свободного кальция и его близкого химического аналога ⁹⁰Sr из почвы в сельскохозяйственные культуры, животных и человека, потребляющего загрязненные продукты. Модель А.С. Chamberlain и оценка предельно допустимого уровня загрязнения почвы ⁹⁰Sr — 2 Ки/км², доложенные в 1955 г. на I Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, стали основой для принятия решений. Позже, в 1970 г., были проведены перерасчеты границы санитарно-защитной зоны с учетом реально оцененных коэффициентов перехода ⁹⁰Sr из почвы в пищевые продукты местного рациона питания и установленного в НРБ-69 предела годового поступления растворимых соединений ⁹⁰Sr через органы пищеварения для ограниченной части населения — категория Б — 0,32 мкКи (примерно 12 кБк). В этом случае критическим органом является кость. Расчетная величина составила 4 Ки/км². Отметим, что в настоящее время предел годового поступления ⁹⁰Sr составляет 13 кБк и рассчитан для критической группы — детей в возрасте 12–17 лет.

Последующие динамические наблюдения после чернобыльской аварии за поведением радионуклидов во внешней среде показали, что приведенные выше соотношения между дозой и плотностью загрязнения являются неоднозначными и обладают избыточной консервативностью.

В истории планирования долгосрочных контрмер особое место занимает период с июля по август 1986 г. В первой половине июля были подготовлены официальные карты загрязнения территории долгоживущими радионуклидами ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ^{239,240}Pu. Внутри изолинии 555 кБк/м² по ³⁷Cs в каждом населенном пункте (НП), были определены средние плотности загрязнения. К 18 июля были разработаны и утверждены «Методические принципы расчет уровней внешнего и внутреннего облучения населения» и проведены расчеты ожидаемых годовых доз для НП, из которых в летний период 1986 г. был проведен организованный вывоз детей и беременных женщин в чистые районы страны. Задание рабочей группе НКРЗ было сформулировано следующим образом: оценить возможность возвращения к началу учебного года (сентябрь–октябрь) указанных групп населения с радиационно-гигиенических позиций.

Основываясь на установленном Минздравом СССР временном годовом пределе дозы 100 мЗв (50 мЗв внешнего, 50 мЗв внутреннего облучения) и оценках доз, все НП были разделены на три группы:

I — возвращение допустимо без ограничений;

Таблица 11

Сводные данные по количеству НП и общей численности населения, проживающего в зонах 3–5 мР/ч (по состоянию на 10 мая 1986 г.) и 555 кБк/м² и выше по ¹³⁷Cs. Июль 1986 г.

	Группа						Всего	
	I		II		III			
	Количество НП	Количество жителей	Количество НП	Количество жителей	Количество НП	Количество жителей	Количество НП	Количество жителей
Белоруссия	143	61257	90	34503	35	10005	268	105765
Россия	3	878	62	70657	41	12535	106	84050
Украина	35	26217	11	15412	1	711	47	42340
Всего по СССР	181	88352	163	120552	77	23251	421	232155

II — возвращение допустимо с ограничением местного рациона;

III — возвращение недопустимо.

Сводные данные по количеству НП и общей численности населения в указанных группах приведены в табл. 11.

Следует отметить, что временный вывоз детей и беременных женщин был реализован впервые в мировой практике. Первоначально планировался вывоз 80 тыс. детей и 5 тыс. беременных женщин из зоны жесткого контроля. Фактически только на Украине вывезено 200 тыс. детей. Предотвращенная доза (1–40 мЗв) составила 15–20 % от ожидаемой за 1986 г.

Таким образом, в августе 1986 г. была организована зона жесткого контроля и установлен комплекс защитных мер, направленный на обеспечение радиационной безопасности населения.

С учетом динамики радиационной обстановки на второй год после аварии (26.04.1987–25.04.1988) был установлен временный предел дозы для населения 30 мЗв/год и на третий год — 25 мЗв/год.

К началу 1988 г. был получен большой массив данных о радиационной обстановке, итогах реализации контрмер, положительных и отрицательных последствиях введения зоны жесткого контроля. Наряду с высокой эффективностью контрмер по показателю снижения дозы внутреннего облучения отмечалось неуклонное нарастание социальной напряженности. Из-за ограничений и самоограничений ухудшалось общее состояние здоровья, особенно у детского контингента. У властей накопилась психологическая усталость от напряженного и недостаточно эффективного, по их мнению, хода работ по преодолению последствий аварии. Основной вопрос заключался в следующем: когда и при каких условиях можно считать завершены работы по ликвидации последствий аварии?

В результате многочисленных дискуссий в НКРЗ при Минздраве СССР был принят консервативный

вариант — ограничение предела дозы за жизнь на критическую группу населения — 0,35 Зв (35 бэр).

Лейтмотивом «35-бэрной концепции» было снятие ограничений на режим жизнедеятельности людей, проживающих в зоне жесткого контроля, и обеспечение непревышения установленного уровня пожизненной дозы.

Там, где этот предел не достигается, предполагалось поэтапное возвращение к нормальным условиям жизнедеятельности. В тех случаях, где этот предел превышался, рассматривались варианты проведения интенсивных реабилитационных мероприятий. И только для тех НП, где и это не помогало, предполагалось отселение жителей. Такой подход позволял выйти на исторически обозримые перспективы окончательного решения проблемы для каждого НП — взамен перипетий, связанных с ограничением годовых доз дополнительного облучения.

Данная концепция в конце 1988 г. была одобрена Минздравом СССР и Правительственной комиссией. В первой половине 1989 г. в республиках была проведена работа по согласованию перечней НП, подлежащих отселению по радиационным и социальным критериям. В значительной степени этот перечень совпал с предложенным в июле 1986 г., что отражало преемственность решений во всех фазах аварии.

Однако критика концепции в пострадавших республиках, подхваченная средствами массовой информации, заблокировала ее практическую реализацию.

Под давлением массированной критики Правительство СССР обратилось в МАГАТЭ с просьбой провести международную экспертизу предложенных отечественными учеными мер по ликвидации последствий аварии и защите населения, в т.ч. и «35-бэрную концепцию», демонстрируя тем самым полное недоверие к отечественной науке.

В Международном чернобыльском проекте приняло участие почти 300 ведущих специалистов мира, в

т.ч. специалисты ВОЗ, ФАО, МАГАТЭ и других международных организаций.

В рамках проекта оценивались не только принятые решения, но и вся обстановка на загрязненных территориях, в т.ч. состояние здоровья жителей. В ходе первых обсуждений стратегии защитных мер стало ясно, что ведущие зарубежные ученые считают предложенную НКРЗ при Минздраве СССР концепцию излишне консервативной. Естественно, что такой радикальный вывод не устраивал сторонников переселений. Результаты Международного чернобыльского проекта стали, по сути, игнорироваться, и к моменту публикации окончательных выводов проекта стратегические решения были уже приняты.

Альтернативная концепция представляла собой политический и экономический компромисс между Центром и республиками. Союзная концепция, подготовленная под руководством академика С.Т. Беляева, в качестве основного критерия зонирования устанавливала среднегодовую эффективную дозу от аварийных выпадений 1 мЗв/год, ниже которой не требовалось каких-либо вмешательств. По состоянию на 1991 г. оценивалось, что численность населения, у которого превышался уровень 1 мЗв/год, — около 470 тыс. человек. Дополнительный дозовый критерий 5 мЗв/год вводился в качестве верхнего ориентира при планировании и проведении контрмер. Оптимизацию защитных мер предлагалось проводить дифференцированно для каждого НП (или группы НП), исходя из условия непревышения 5 мЗв/год после их завершения и вплоть до 1 мЗв/год.

С 1991 г. в России руководящим документом по социальной защите граждан и экономической реабилитации территорий, затронутых аварией на ЧАЭС, стал Федеральный закон «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» от 15 мая 1991 г. с дополнениями и изменениями. Близкие по духу законы были приняты в Белорусской ССР и Украинской ССР.

Во всех без исключения принятых законах критерии зонирования территорий на позднем этапе представляли собой эклектичную смесь основных и производных уровней. Впервые в юридических документах в качестве нормативных показателей были установлены одновременно уровни эффективной дозы и плотности загрязнения территории.

К 5-летней годовщине аварии сложилась достаточно противоречивая ситуация. Радиационная обстановка позволяла сконцентрировать защитные мероприятия на весьма ограниченных территориях. В это же время высшими органами власти союзных республик и СССР были приняты беспрецедентные решения, инициировавшие массовые переселения, строительство тысяч новых объектов, развертывание новых исследовательских работ, в т.ч. по хорошо известным специалистам вопросам. Наиболее тяжелым было решение о вовлечении в послеаварийную ситуацию миллионов жителей слабозагрязненных территорий, а также признание пострадавшими от радиационного воздействия всех, кто хоть один день (час) побывал в 30-км зоне.

Последовавший вскоре распад СССР создал ситуацию, в которой принятые обязательства по отношению к затронутому аварией населению оказались в принципе невыполнимыми в полном объеме. Вследствие тяжелого экономического кризиса, в котором оказались образовавшиеся страны, объем практически реализованных мероприятий по переселению оказался небольшим. Это в определенной мере способствовало смягчению негативных последствий принятых решений.

В качестве примера радиационного зонирования на позднем этапе аварии в табл. 12 представлены данные Министерства статистики и анализа Белоруссии о количестве НП, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения, и численности проживающего в них населения.

Таблица 12

Характеристика зон проживания населения в Белоруссии

Характеристика	1991	1995	2000	2003	2004	2005
Число населенных пунктов — всего	3370	3221	2894	2746	2732	2631
В т.ч. в зонах проживания:						
с периодическим радиационным контролем	2006	1933	1732	1646	1637	1755
с правом на отселение	999	1102	1085	1051	1048	843
последующего отселения	307	176	77	49	47	33
первоочередного отселения	58	10	—	—	—	—
Численность населения — всего, тыс. человек	1852,9	1841,0	1571,0	1470,5	1463,0	1333,0
В т.ч. в зонах проживания:						
с периодическим радиационным контролем	1489,6	1485,2	1246,3	1207,1	1202,4	1136,8
с правом на отселение	281,3	314,2	296,8	247,4	244,8	192,2
последующего отселения	79,1	41,3	27,9	16,0	15,8	4
первоочередного отселения	2,9	0,3	—	—	—	—

Важным уроком из событий, произошедших в период политического кризиса, является то, что возможность принятия научно обоснованных решений по защите населения в этих условиях практически отсутствует. Эффективные меры по ликвидации последствий радиационной аварии могут быть осуществлены только в условиях доверия к власти и последовательной информационной политики.

Гигиеническая регламентация содержания радионуклидов в пищевых продуктах

Гигиеническая регламентация содержания радионуклидов в пищевых продуктах была одним из основных краткосрочных и долгосрочных мероприятий по радиационной защите населения после чернобыльской аварии. Эта проблема была поставлена в практическом плане не только в масштабе одной страны, но и многих стран Европы и мира в связи с трансграничным переносом радиоактивных веществ.

В первые несколько недель после аварии основным дозообразующим радионуклидом являлся ^{131}I , объемная активность которого в части проб молока достигала $3,7 \times 10^4 - 3,7 \times 10^5$ Бк/л.

На основе критериев для принятия решений в первые дни после аварии был введен временный допустимый уровень (ВДУ) активности ^{131}I в молоке 3700 Бк/л. 6 мая 1986 г. этот норматив был дополнен допустимым уровнем содержания ^{131}I в питьевой воде, молокопродуктах, рыбе, столовой зелени. Санитарный аварийный контроль на местах стал осуществляться уже в последних числах апреля по указанию Главного государственного санитарного врача СССР. Молоко с содержанием ^{131}I выше нормативного направлялось на переработку в продукты, выдерживающие хранение в течение сроков, достаточных для распада ^{131}I (масло, сыр).

Если временные допустимые уровни по ^{131}I предназначались для краткосрочного использования в первый месяц после аварии и опирались на временно разработанные рекомендации, то установление последующих ВДУ по долгоживущим радионуклидам ^{134}Cs , ^{137}Cs и ^{90}Sr потребовало решения ряда новых, принципиальных вопросов:

- выделение дозовой квоты на внутреннее облучение из временных пределов годовой дозы;
- периодичность пересмотра ВДУ;
- целесообразность и возможность учета радиоэкологических особенностей Украинско-Белорусского Полесья при установлении соотношений между допустимыми удельными активностями различных продуктов;
- установление типового рациона питания жителей загрязненных регионов;

- определение номенклатуры основных пищевых продуктов, подлежащих радиометрическому контролю;
- выбор инструментально измеряемых радиометрических параметров и методик выполнения измерений с учетом существующего приборного парка для проведения массового радиометрического контроля и др.

Годовые квоты на внутреннее облучение составляли: 50 мЗв (1986 г.), 10 мЗв (1987 г.), 8 мЗв (1988–1992 гг.) и 5 мЗв (1993–1997 гг.).

Проблемой установления ВДУ занимались не только в СССР, но и в других странах, где в результате трансграничного переноса чернобыльские выпадения изменили глобальный радиационный фон по ^{137}Cs и служили основой для пересмотров ВДУ.

Установленные ВДУ различались даже в тех странах, где уровни радиоактивного загрязнения, социально-экономические условия и другие аспекты были сходны. Эти различия вызвали озабоченность среди населения и трудности при организации международной торговли.

Компетентными международными организациями (ВОЗ, ФАО, МКРЗ, МАГАТЭ, КЕС) были предприняты усилия для выработки взаимосогласованных критериев. В 1988 г. ВОЗ выпустила «Правила по применению производных уровней вмешательства для пищевых продуктов на случай возможных будущих аварий». В качестве дозового уровня вмешательства на первый год после аварии было выбрано значение 5 мЗв/год, исходя из ограничения индивидуального риска, с одной стороны, и социально-экономической приемлемости риска, с другой стороны. Позднее международные нормативы были закреплены в Codex Alimentarius и международных нормах радиационной безопасности (Публикация 115 МАГАТЭ, 1990 г.).

Отмена аварийных ВДУ является органической частью процесса реабилитации территорий и возвращения населения к нормальным условиям жизнедеятельности.

«Нормальность» ситуации в отношении пищевых продуктов в Белоруссии, России и на Украине в настоящее время увязывается с эффективной дозой 1 мЗв/год, численно совпадающей с пределом дозы для населения, но отличающейся от него концептуально. Действующие в этих странах нормативы принципиально не различаются между собой. Например, ключевой норматив на молоко является одинаковым — 100 Бк/л по ^{137}Cs . Тем не менее, целесообразным представляется создание единой нормативной базы для трех стран в целях торговли между ними.

Выводы

Анализ опыта реагирования на чернобыльскую аварию является уникальным для совершенствования системы аварийного реагирования, которая должна включать четкие процедуры действий, подготовленный персонал, необходимые приборы и оборудование, заранее разработанные критерии принятия решений, систему подготовки кадров аварийных рабочих.

В основном меры по радиационной защите населения оказались своевременными, что позволило избежать детерминированных радиологических эффектов облучения и снижения отдаленных последствий. Исключение составляет проведение йодной профилактики, которое оказалось запоздалым и неэффективным. Это потребовало внедрения масштабных медицинских мероприятий на загрязненных территориях, связанных с ранней диагностикой и лечением пострадавших.

Радиационная защита на позднем этапе аварии, по мнению компетентных международных организаций, являлась избыточной. Оптимизация формы, масштаба и длительности вмешательства продолжает оставаться актуальной и нерешенной проблемой радиационной защиты. Следует ясно осознать, что на современном этапе аспекты радиационной защиты перестали быть приоритетными в сравнении с другими направлениями реабилитации — социальными, экономическими и психологическими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. USSR State Committee of the Utilization of Atomic Energy. The Accident at the Chernobyl NPP and its Consequences. Summary Report of the Post-Accident Review Meeting of the Chernobyl Accident.— Vienna: IAEA. 1986. Safety Series N75-INSAG-1.
2. Международный чернобыльский проект. Оценка радиологических последствий и защитных мер. Докл. Международного консультативного комитета.— Вена: МАГАТЭ. 1992.
3. Чернобыль. Пять трудных лет: Сб. материалов.— М.: ИздАТ. 1992.
4. Международная конференция МАГАТЭ. 10 лет после Чернобыля.— Вена. 1996.
5. Чернобыльская катастрофа. Под ред. В.Г. Баряхта.— Киев: Наукова думка. 1995. 559 с.
6. Ильин Л.А. Реалии и мифы Чернобыля. Изд. 2-е. — М.: ALARA Limited. 1996. 494 с.
7. International Conference «Chernobyl: Looking Back to Go Forwards». Vienna. 6–7 September 2005.
8. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и соавт. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова.— М.: ИздАТ. 2001.
9. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 29 мая 1986 г. № 634-188.
10. Ильин Л.А., Крючков В.П., Осанов Д.П. и соавт. Уровни облучения участников ликвидации последствий чернобыльской аварии в 1986–1987 гг. и верификация дозиметрических данных // Радиационная биология. Радиоэкология. 1995. Т. 35. Вып. 6. С. 803–827.
11. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly. Annex J. Exposures and the effects of the Chernobyl accident. V. II P. 451–566. United Nations. New York. 2000.
12. Иванов В.К. Медицинские радиологические последствия Чернобыля спустя 20 лет: данные национального регистра. Материалы Российской научной комиссии по радиационной защите. 14.03.2006 г.
13. Ильин Л.А., Константинов Ю.О., Лихтарев И.Я. и соавт. Временные методические рекомендации для разработки мероприятий по защите населения в случае аварии ядерных реакторов. — М. 1971.
14. Критерии для принятия решения о мерах защиты населения в случае аварий реактора. Утв. Минздравом СССР 04.08.1983 г.

Поступила: 09.03.2016

Принята к публикации: 28.03.2016