

**Р.В. Арутюнян, Л.А. Большов, И.И. Линге, Е.М. Мелихова,
С.В. Панченко**

**УРОКИ ЧЕРНОБЫЛЯ И ФУКУСИМЫ:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ПРИ АВАРИЯХ НА АЭС**

R.V. Arutyunyan, L.A. Bolshov, I.I. Linge, E.M. Melikhova, S.V. Panchenko
**Lessons of Chernobyl and Fukushima and Actual Problems of Development
of the System of Radiation Protection of the Population and Territories
in Case of a Nuclear Power Plant Accident**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
Уроки аварии на Чернобыльской АЭС
Уроки аварии на АЭС Фукусима-1
Актуальные задачи совершенствования системы радиационной защиты населения и территорий

Ключевые слова: атомные станции, технологическая безопасность реакторов, аварийное реагирование, критерии вмешательства, оптимизация решений по защите населения и территорий, чернобыльская авария, авария на АЭС Фукусима-1

CONTENTS

Introduction
Lessons of the Chernobyl accident
Lessons of the Fukushima accident
Actual problems of development of the system of radiation protection of the population and territories

Key words: nuclear power plant, technological safety of nuclear reactors, emergency response, intervention criteria, radiation protection of population and territories, optimization of decision-making, Chernobyl accident, Fukushima accident

Введение

В 60-летней истории развития мировой атомной энергетики первые три десятилетия можно назвать «поступательным движением». При этом все трудности «технологического роста», а их было немало, преодолевались внутри отрасли. В марте 1979 г. произошла тяжелая авария с частичным плавлением активной зоны на втором энергоблоке американской АЭС Три-Майл-Айленд. Она привела к добровольной кратковременной эвакуации порядка 150–200 тыс. жителей из 25-мильной зоны. Но радиоактивный

выброс был незначимым, и общественный резонанс практически не вышел за пределы США.

26 апреля 1986 г. авария на Чернобыльской АЭС привела к радиоактивному загрязнению обширных территорий в трех республиках СССР и имела сильный общественный резонанс во всем мире. После этой аварии темпы развития мировой атомной энергетики значительно снизились, включая количество подсоединенных к сетям энергоблоков (рис. 1). Была кардинально пересмотрена философия обеспечения безопасности атомных станций, инициированы масштабные международные программы исследования

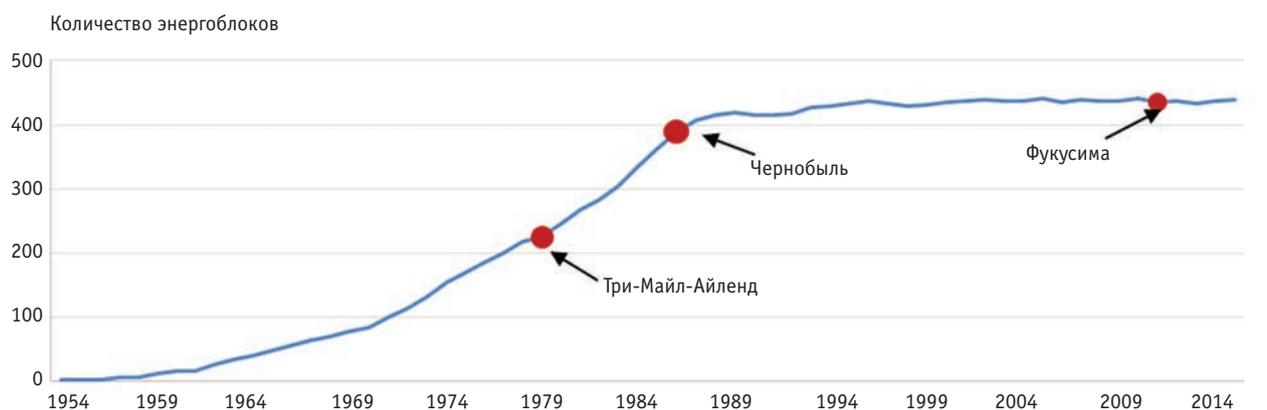


Рис. 1. Количество подключенных к сети энергоблоков в мире по годам, 1954–2014 гг. [40]

Таблица 1

Сводные данные по серьезным авариям (более 5 жертв*) в мировой энергетике в 1969–2000 гг., по данным [38]

Вид топлива	Число аварий	Число жертв*)	Число жертв на 1 ГВт (эл.)
Уголь	1 119	20 276	0,6
Нефть	397	20 218	0,9
Природный газ	135	2 043	0,1
Сжиженный нефтяной газ	105	3 921	14,9
Гидроресурсы	11	29 938	10,3
Уран	1	31	0,05
Итого	1 870	81 258	

Примечание:

*) число погибших в ходе аварии и в первые 100 дней после нее

тяжелых аварий на АЭС, началась разработка новых систем безопасности.

Следующие двадцать пять лет мировая атомная энергетика работала без серьезных аварий. Ее доля в мировом производстве электроэнергии стабилизировалась на уровне 16 %, составляя в экономически развитых странах от 20 до 78 % [1, 2].

В период 1987–2007 гг. число случаев аварийного облучения в высоких дозах с ранними клиническими последствиями на предприятиях ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) снизилось в 30 раз по сравнению с предшествующим 20-летним периодом (рис. 2). Всего же за 60 лет использования атомной энергии в мировом масштабе, по данным НКДАР ООН, было зафиксировано 1350 случаев острого облучения с ранними последствиями, в т.ч. 162 смертельных случая, из них 28 в результате аварии на ЧАЭС [3].

Для сравнения, в мире ежегодно в результате серьезных аварий (число жертв не менее 5 человек) в энергетике гибнет более 2 500 человек, и это число растет вместе с ростом энергопотребления. По данным Института Поля Шеррера (Швейцария), за 30-летний период 1969–2000 гг. в угольной энергетике в тяжелых авариях ежегодно погибали в среднем 1053 человека, при сжигании нефти – 674 человека, при сжигании природного газа – 68 человек (табл. 1). Неизбежны жертвы и в гидроэнергетике. Так, при аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г. одновременно погибли 75 человек. Отсюда с неизбежностью следует вывод о существенно более высоком уровне безопасности атомной энергетике по сравнению с другими видами электроэнергетики (рис. 2).

11 марта 2011 г. произошла тяжелая авария на японской АЭС в префектуре Фукусима. Погибших и пострадавших от острых радиационных поражений не было. Общественный резонанс был общемировым, но вектор развития атомной энергетике не из-



Рис. 2. Сводные данные НКДАР ООН по числу погибших и пострадавших (ранние эффекты) при авариях на предприятиях ЯТЦ и при использовании атомной энергии / ионизирующих излучениях в других отраслях (кроме медицинского применения) [3]

менился – были продолжены все ранее объявленные программы строительства новых блоков (рис. 1). Если на момент аварии (11.03.2011 г.) в мире эксплуатировалось 448 энергоблоков установленной мощностью 380,3 ГВт (эл.), то на 01.01.2016 г. функционировали 439 реакторов установленной мощностью 382,5 ГВт (эл.), при этом 66 реакторов находились в стадии строительства. В ближайшие 8–10 лет запланирован ввод еще 158 энергетических реакторов в двадцати с лишним странах Европы и Юго-Восточной Азии [4].

В то же время в «общественном измерении» тема последствий чернобыльской аварии не закрыта окончательно. В Белоруссии, России и на Украине спустя 30 лет действуют государственные программы преодоления последствий аварии. В обществе в целом до сих пор нет консенсуса, прежде всего по медицинским последствиям аварии. Также неоднозначно воспринимаются обществом последствия аварии на АЭС Фукусима-1. Это ярко демонстрируют результаты общероссийского опроса общественного мнения, который проводился по заказу ИБРАЭ РАН в октябре 2012 г.¹

В ходе опроса более половины россиян ответили, что чернобыльская радиация стала причиной гибели тысяч, десятков тысяч и более человек. Распределение ответов по японской аварии оказалось удивительно похожим на распределение по Чернобылю (рис. 3, 4). В обоих случаях распределение ответов практически не зависело от возраста, образования, материального положения, места проживания и рода занятий респондентов [5].

¹ Фонд «Общественное мнение» включил вопросы о радиационном риске в опросник еженедельного исследования ФОМнибус 26–28 октября 2012 г. Всего были опрошены 1500 человек в 44 регионах РФ. Опрос проводился в форме интервью по месту жительства респондента.



Рис. 3. Распределение ответов респондентов на вопрос: «В 1986 г. произошла авария на Чернобыльской АЭС. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?», в процентах от общего числа опрошенных [5]

Общественные представления о масштабах радиационных потерь после аварии на ЧАЭС завышены на 2–3 порядка по сравнению с фактическими данными радиационной медицины. Зачастую профессиональное сообщество само представляет общественности весьма неоднозначные данные. Например, объединенный пресс-релиз МАГАТЭ, ВОЗ и ПРООН, подготовленный по итогам работы Чернобыльского форума в 2005 г., озаглавленный «Чернобыль: истинные масштабы аварии», проинформировал мировые СМИ о том, что «в результате аварии на Чернобыльской атомной станции... в конечном счете могли погибнуть в общей сложности до 4 тыс. человек. По состоянию на середину 2005 г., однако, менее 50 случаев смерти могут быть непосредственно отнесены к воздействию облучения во время катастрофы» [6]. Аналогично, в базу данных Института Поля Шеррера, о которой мы говорили выше, были внесены исключительно «гипотетические» оценки отдаленных последствий аварии (от 7 до 33 тыс. онкологических заболеваний с летальным исходом).

Вопрос о том, почему авария с ограниченными радиологическими последствиями в общественном измерении приобрела масштабы катастрофы общенационального масштаба, обсуждался неоднократно, например, в работах [7–9]. Много объяснялось тем, что работы по ликвидации последствий аварии (ЛПА) происходили в переломный период в истории страны. После аварии на АЭС Фукусима-1 проблема превалирования косвенных последствий тяжелых аварий на АЭС снова стала актуальной. Японская авария по существу не имела выявляемых радиологических последствий, но также превратилась в общенациональную катастрофу в экономически успешной и политически стабильной Японии. В настоящей работе анализируются универсальные факторы, обусловившие многократное возрастание масштабов косвенных последствий в обоих случаях, и обсуждаются пути решения этой проблемы.



Рис. 4. Распределение ответов респондентов на вопрос: «В 2011 г. произошла авария на АЭС «Фукусима» в Японии. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?», в процентах от общего числа опрошенных [5]

Уроки аварии на Чернобыльской АЭС

На наш взгляд, главной предпосылкой чернобыльской аварии была завышенная оценка достигнутого к 1970-м гг. уровня безопасности АЭС.

К этому времени у руководства атомной отрасли и руководителей советского государства сформировалась уверенность в невозможности серьезных аварий на атомных реакторах советского дизайна. Аварии случались и на исследовательских реакторах, и на промышленных, и на энергетических, но всегда обходились без значимых радиологических последствий и оставались внутриведомственным делом. Уроки аварии 1979 г. на американской АЭС Три-Майл-Айленд в СССР, в отличие от стран Запада, практически были проигнорированы.

Базовым условием обеспечения безопасности АЭС советских проектов были высокие требования к квалификации управленческого и эксплуатационного персонала, который рекомендовалось набирать из выпускников университетов и инженеров-физиков, имеющих знания в области ядерной физики. В Минэнерго, в подчинение которого в 1966 г. были переданы из Минсредмаша все атомные станции, кроме Ленинградской, остро ощущался кадровый голод. Несмотря на значительные темпы подготовки новых профессиональных кадров для АЭС, потребность в них росла еще быстрее. Этот дефицит покрывался за счет привлечения местного населения, а также персонала с других объектов энергетики. У новых сотрудников зачастую не было необходимой квалификации и соответствующей высокотехнологичному производству культуры безопасности². На Чернобыльской АЭС степень пренебрежения требованиями производственной безопасности достигла

² Термин «культура безопасности» появился уже после аварии в итоговом докладе Международной консультативной группы по ядерной безопасности, работавшей при генеральном директоре МАГАТЭ (1991 г.).

критической отметки. В ночь с 25 на 26 апреля 1986 г. персонал перевел реактор в потенциально опасное состояние, в котором реализовались негативные проектные характеристики РБМК-1000. Результатом стала самая тяжелая за всю историю атомной энергетики авария.

Разработчики проекта на самом высоком уровне постоянно утверждали, что РБМК – самый безопасный реактор. Теоретические исследования по безопасности реактора РБМК были прекращены. Подготовленные ими регламентные ограничения, как показала практика, оказались весьма слабой защитой. В эксплуатационной документации не были указаны возможные последствия эксплуатации реактора с имевшимися опасными характеристиками. В то же время Минэнерго СССР длительное время пассивно эксплуатировало реакторы РБМК, не придавая должного значения тщательному разбору нарушений в работе [10].

Свидетельства самоуспокоенности руководителей профильных ведомств и властей на местах находим в воспоминаниях чл.-корр. РАМН А.К. Гуськовой и академика Л.А. Ильина, стоявших у истоков отечественной радиационной медицины и радиационной гигиены.

Так, А.К. Гуськова пишет: «Считаю существенным подчеркнуть эту характеристику «победного безоблачного шествия атомной энергетики», притупившего бдительность персонала и породившего необоснованное отрицание руководством какой-либо возможности аварий на АЭС». В 1970 г. А.К. Гуськова и А.А. Моисеев подготовили для издания рукопись книги, в которой были сопоставлены особенности радиационной ситуации и мер помощи при наземном атомном взрыве и аварии мирного времени с обнажением активной зоны реактора. Заместитель министра А.И. Бурназян обвинил авторов в том, что они «планируют аварию». Подробно об этом А.К. Гуськова рассказала в монографии [11].

В сентябре 1985 г. Минсредмаш СССР запретил публикацию статьи ведущих специалистов Института биофизики МЗ СССР Л.А. Ильина, О.А. Павловского и Ю.О. Константинова «Планирование мероприятий по радиационной защите населения при гипотетических авариях на атомных станциях», подготовленной для обсуждения на международном симпозиуме с аналогичной мотивировкой «... в СССР не может быть таких аварий» [12].

В декабре 1971 г. Главный санитарный врач СССР утвердил «Временные методические указания для разработки мероприятий по защите населения в случае аварии ядерных реакторов». В основу была положена разработанная в Ленинградском НИИ радиационной гигиены под научным руководством академика

Л.А. Ильина двухуровневая концепция принятия неотложных решений для аварийных ситуаций на АЭС: при эквивалентной дозе облучения на уровне 250 мЗв за 10 дней эвакуация считается целесообразной (уровень А), а если прогнозируемая доза превышает 750 мЗв, то эвакуация является обязательной (уровень Б) [13]. Методические указания предназначались для руководителей Гражданской обороны СССР и руководителей служб ГО на местах, для администраций АЭС, руководителей служб здравоохранения областей и республик. В 1983 г. Минздравом СССР был утвержден Приказ № 2826/83 от 4.08.1983 г. «О мерах защиты населения в случаях аварии на ядерных реакторах». После чернобыльской аварии оказалось, что большинство ответственных за организацию и проведение соответствующих мероприятий вообще не знали о существовании этих документов, которые не были секретными [12].

Игнорирование тяжелых аварий на всех уровнях управления объясняет отсутствие в СССР вплоть до 1986 г.:

- готовности руководства и персонала АЭС, а также органов власти всех уровней к организации радиационной защиты населения на значительных территориях с многомиллионным населением,
- технически обоснованных аварийных планов на случай аварий со значительным радиоактивным выбросом,
- специализированных сил и средств для работ в условиях тяжелой аварии,
- территориальных систем радиационного мониторинга,
- оперативной системы научно-технической и инженерной поддержки принятия решений по управлению аварией в острой фазе.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС 134 человека из числа пожарных и сотрудников станции получили в первые сутки высокие дозы облучения на все тело, приведшие к развитию острой лучевой болезни, 28 из них спасти не удалось.

Жители 50-тысячного города Припять были экстренно эвакуированы, чтобы предотвратить превышение нижней границы (уровень А) действовавших на момент аварии дозовых критериев. Позже из-за опасений парового взрыва были также эвакуированы жители и 30-км зоны. Всего в 1986 г. были вывезены 116317 человек из 187 населенных пунктов [12, 14].

После того как выброс в атмосферу заметно снизился и радиационная обстановка стабилизировалась, к работам на площадке и за ее пределами продолжали привлекаться неоправданно большие контингенты ликвидаторов. Только в 1986 г. в работах в зоне ЧАЭС принимали участие около 120 тыс. человек. Многие решения по управлению аварийными

работами вынужденно принимались в условиях жесткого лимита времени и без необходимой проработки. Жесткие сроки в значительной мере определялись задачей в кратчайшие сроки обеспечить восстановление и пуск ЧАЭС. Такая постановка задачи, в свою очередь, была следствием непонимания реальных масштабов последствий аварии.

Без своевременных указаний из центральных органов управления местные власти не решались предпринять необходимые контрмеры. Непростительное затягивание мероприятий по защите щитовидной железы от радиоактивного йода (в т.ч. введение ограничения на употребление жителями загрязненного молока и листовой зелени и прием защитных препаратов стабильного йода) привело к высоким дозам облучения с последующим развитием радиогенной патологии щитовидной железы у части детского населения в ряде эндемичных по зобу районов Белоруссии, России и Украины [15, 16].

Отсутствие единой государственной системы защиты населения и территорий при масштабных радиационных авариях означало, в первую очередь, отсутствие у властей продуманной стратегии действий и системы выработки оптимальных мер вмешательства, основанной на научно обоснованных оценках и прогнозах среднесрочных и долгосрочных последствий.

Решения по информированию населения СССР за пределами аварийной зоны и международной общественности исходили из текущей конъюнктуры внутренней и внешней политики. Внутри страны почти три года детальная информация о радиационных последствиях аварии оставалась засекреченной. Защитные мероприятия в этот период проводились в основном в зоне жесткого контроля, ограниченной изолинией 15 Ки/км², и затрагивали порядка 273 тыс. человек в трех советских республиках (табл. 2). Граница зоны была выбрана исходя из дозового критерия 100 мЗв облучения населения за первый год. На второй год допустимая годовая доза облучения населения была снижена до 30 мЗв, на третий год – до 25 мЗв. Проведенный впоследствии индивидуальный дозиметрический контроль показал, что накоплен-

ные за 10 лет дозы внешнего облучения превысили 100 мЗв только у 3 % жителей [14].

В ноябре 1988 г. Научная комиссия по радиационной защите (НКРЗ) предложила на восстановительной фазе использовать дозовый критерий 350 мЗв (35 бэр) за 70 лет. В мировой практике принцип оптимизации мер радиационной защиты был уже общепринятым, но механизмы оптимизации не были разработаны. По сравнению с существовавшим годовым нормированием 35-бэрная концепция могла обеспечить высокую степень радиационной защиты и исключить необоснованное вмешательство. Предел дозы 350 мЗв за жизнь примерно удваивал среднюю дозу от природного фона, при этом гипотетическое число дополнительных радиогенных раков, рассчитываемое на основании предположения о беспороговом действии радиации, составляло сотые доли от спонтанного уровня онкологической смертности, т.е. было не обнаружимо. С радиологической точки зрения 35-бэрная концепция была слишком консервативной; по мнению председателя МКРЗ Д. Бенинсона, безопасным можно было считать уровень 100 бэр за 20 лет [17].

Однако в начале 1989 г. политическая ситуация начала стремительно меняться. Власти уже не могли сохранять секретность, и чернобыльская тема стала аргументом в политической борьбе. «35-бэрную концепцию академика Ильина» объявили «геноцидом славянских народов». СМИ заполнились весьма эмоциональной, но, как правило, непрофессиональной, тенденциозной, а иногда и просто фальсифицированной информацией о медицинских последствиях аварии. У значительной части ликвидаторов и населения зоны жесткого контроля были сформированы стойкие негативные ожидания в отношении здоровья и жизненных перспектив [18].

В условиях острой политической борьбы популистский подход центральных властей к решению вопросов компенсации и возмещения ущерба от аварии был предрешен. В сентябре 1991 г. вступил в силу Закон СССР от 15.05.1991 № 2146-1 «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы». Этот закон гарантировал социальную защиту «пострадавшим» вне зависимости от фактической реализации радиационного риска для здоровья и даже вне зависимости от полученной дозы облучения. В категорию «пострадавших» были включены жители территорий с плотностью загрязнения почвы цезием-137 свыше 1 Ки/км², а также все, кто побывал в 30-км зоне ЧАЭС в период с 26.04.1986 по 01.01.1990 г., независимо от продолжительности пребывания.

Формально в законе фигурировал дозовый критерий 1 мЗв/год как ориентир для проведения за-

Таблица 2

Численность населения и накопленные за период 1986–1996 гг. дозы облучения в зоне жесткого контроля (¹³⁷Cs > 15 Ки/км²) (за исключением доз на щитовидную железу) [39]

Показатель	Белоруссия	Россия	Украина	Всего
Численность населения, тыс. чел.	109	111,8	52,0	272,8
Средние накопленные дозы, мЗв	47,0*)	82,6	35,7	59,4

Примечание:

*) в Белоруссии население из зон «жесткого контроля» было переселено в 1991–1992 гг.

щитных мероприятий на радиоактивно загрязненных территориях (РЗТ). Но он не был привязан к критериям зонирования и, по сути, играл номинальную роль. Размер льгот и компенсаций жителям РЗТ устанавливался по зонам загрязнения, участникам ЛПА – по календарному году въезда в 30-км зону. Меры социальной защиты ликвидаторов включали бесплатное приобретение лекарств и оказание медицинской помощи, досрочный выход на пенсию, оплачиваемый дополнительный «чернобыльский» отпуск, налоговые льготы и денежные выплаты и др.

Ликвидаторы с подтвержденным диагнозом ОЛБ были выделены в отдельную категорию, им обеспечивалась персонализированная медицинская помощь и необходимые условия для поддержания здоровья. Остальные участники ЛПА были разделены на две категории – ликвидаторы 1986–87 гг. и ликвидаторы 1988–89 гг. Льготы и компенсации ликвидаторам каждой категории устанавливались «независимо от места дислокации и выполняемых работ», т.е. никак не были привязаны к реально полученным дозам.

Размеры индивидуальных компенсаций и льгот на РЗТ также слабо зависели от уровня риска, т.к. с начала 1990-х гг. на большинстве РЗТ дополнительное облучение уже не превышало 1 мЗв в год. Средние дозы облучения жителей в зоне жесткого контроля к 1991 г. снизились до 3 мЗв/год (рис. 5).

Примененные в законе 1991 г. критерии увеличили численность затронутого мерами вмешательства населения более чем на порядок, примерно с 500 тыс. до 7 млн человек. При этом 90 % территорий, включенных по закону в категорию РЗТ, относились к зоне льготного социально-экономического статуса (1–5 Ки/км²), где дополнительные чернобыльские дозы были сопоставимы с дозами облучения от природного фона. Как происходил рост численности населения, затронутого контрмерами в Российской Федерации, показано на рис. 5.

После распада СССР в декабре 1991 г. эти же критерии социальной защиты были закреплены в чернобыльских законах новых государств (Белоруссия, Россия и Украина).

По расчетным оценкам, накопленные за двадцать послеаварийных лет чернобыльские дозы у 150 тыс. жителей зоны жесткого контроля были сопоставимы или несколько выше накопленных за тот же период доз от природного фона (~50 мЗв), в т.ч. порядка 25 тыс. человек в России (табл. 3). У остальных 6,25 млн жителей РЗТ чернобыльская доза была меньше природного фона. Например, у 70 % из них дополнительные накопленные за 20 лет эффективные дозы оказались менее 1 мЗв, а у 20 % колебались от 1 до 2 мЗв [15].

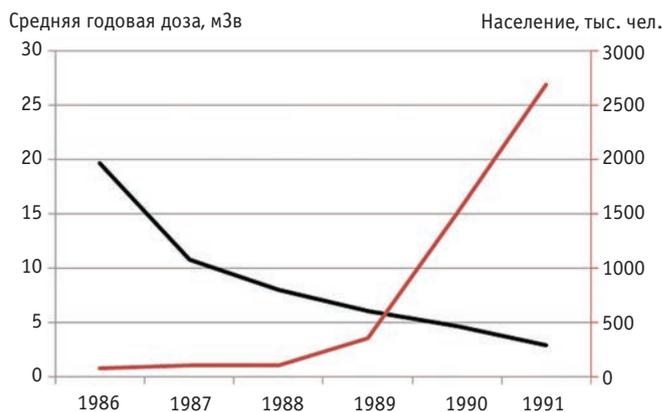


Рис. 5. Динамика средних эффективных годовых доз облучения населения в зоне загрязнения 15–40 Ки/км² в 1986–1996 гг. (черная линия), по [41]; численность населения на российских территориях, официально вовлеченных в защитные меры (красная линия), по [9]

Таблица 3

Распределение жителей четырех российских областей по накопленным за 20 лет после аварии дополнительным эффективным дозам, тыс. чел., по данным [14]

Области	10–20 мЗв	20–50 мЗв	50–70 мЗв	70–100 мЗв	Выше 100 мЗв
Брянская	112,6	103,2	18,1	5,1	1,6
Калужская	6,2	0,6	–	–	–
Тульская	34,9	3,7	–	–	–
Орловская	7,7	0,5	–	–	–

Примечание: в остальных областях накопленные дозы не превышают 10 мЗв

Таблица 4

Средние дозы облучения за счет ЭРОА изотопов радона отдельных групп наиболее облучаемых жителей в разных субъектах Российской Федерации [18]

Субъект РФ	Доза, мЗв/год
Челябинская область	89,1 ± 22,3
Ставропольский край	51,5 ± 7,2
Санкт-Петербург	50,4 ± 1,2
Ростовская область	49,7 ± 4,1
Еврейская АО	48,0 ± 6,3
Республика Алтай	42,7 ± 5,1
Республика Адыгея	42,7 ± 4,7
Красноярский край	36,7 ± 3,1
Забайкальский край	30,7 ± 8,7

В то же время, по данным Роспотребнадзора, в России более 1 млн человек живут на территории, где дозы от природного фона превышают 10 мЗв/год и около 10 млн человек получают дозы от природных источников более 5 мЗв/год [19]. Для некоторых групп населения в отдельных районах российских

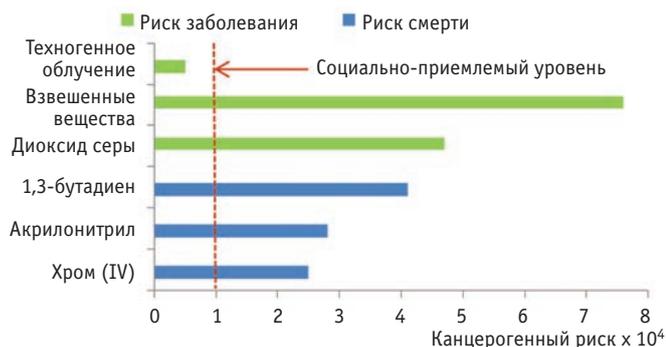


Рис. 6. Пожизненный канцерогенный риск от годового воздействия вредных химических веществ на уровне ПДК в атмосферном воздухе и ионизирующего излучения на уровне предельной годовой дозы для населения 1 мЗв, по [42]

городов и в небольших населенных пунктах дозы от природных источников превышают 30, 40 и даже 50 мЗв/год (табл. 4). Показатели популяционного здоровья жителей в районах с аномально высокими уровнями природного фона, как и на территориях в других странах мира (например, 35 мЗв/год в Гуарапари в Бразилии и в штате Керала в Индии и т.д.) не имеют значимых отклонений от соответствующих региональных значений [20], а радиационные риски в этом случае выносятся за рамки санитарного регулирования.

Средние (разовые) эффективные дозы облучения российских пациентов при основных видах рентгенодиагностических процедур достигают 3–5 мЗв (многофазные томографические исследования), и объем применения таких процедур постоянно растет [19]. Тенденция к росту медицинского облучения наблюдается во всех развитых странах. Так, в Германии в 2005 г. среднегодовые дозы от медицинских источников приблизились к отметке 2 мЗв/год, в США в 2006 г. превысили уровень 3 мЗв/год [21].

Ситуации существующего облучения после аварии на ЧАЭС, как и ситуации планируемого облучения от атомного производства, выделяются как «более опасные» не только по отношению к природным и медицинским источникам, но и по отношению к вредным химическим веществам, в т.ч. канцерогенам. Например, канцерогенный риск от облучения на уровне допустимого предела дозы в десятки раз ниже риска от воздействия химических загрязнителей на уровне ПДК, воздействию которых подвержены многие миллионы людей (рис. 6). По оценкам ИБРАЭ РАН, выбросы угольных ТЭС являются причиной 5–7 тыс. преждевременных смертей в год среди российского населения (табл. 5).

Таким образом, чернобыльский закон перевел регулирование аварийных рисков в диапазон малых и сверхмалых доз облучения, которые на два порядка

Таблица 5

Риски смерти населения в российских городах с крупными угольными ТЭС [42]

Города	Численность населения, тыс. чел.	Индивидуальный годовой риск смерти	Популяционный годовой риск смерти, чел.
Улан-Удэ	371,4	$5,1 \times 10^{-4}$	190
Черемхово	50,0	$1,9 \times 10^{-3}$	96
Чита	316,7	$8,8 \times 10^{-4}$	278
Новочеркасск (Ростовская ГРЭС)	188,7	$3,2 \times 10^{-4}$	60
Усурийск	158,4	$1,0 \times 10^{-3}$	158

ниже порога обнаружимости вредного воздействия на здоровье и в десять раз ниже верхних границ вариативности доз облучения от природного фона и медицинских диагностических процедур. Регулирование в этом диапазоне уже не имеет отношения к практическим задачам защиты здоровья человека. Подробнее этот вопрос рассматривается ниже.

Установленные чернобыльскими законами критерии зонирования и предоставления социальной защиты не были оправданными не только с точки зрения базового принципа радиационной защиты, утверждающего, что польза от снижения радиационного ущерба должна перевешивать вред от вмешательства. Центральным властям пришлось «размазывать» средства по всем зонам, включая обширную зону льготного социально-экономического статуса (1–5 Ки/км²). В условиях постоянного недофинансирования чернобыльских госпрограмм наиболее пострадавшие районы оказались в худшем положении. По оценкам специалистов ИБРАЭ РАН, суммарная финансовая поддержка жителей РЗТ за период 1992–2015 гг. не превысила 1 500 долл. США на одного человека.

В то же время, чернобыльский закон создал предпосылки для серьезных психологических проблем у миллионов жителей РЗТ и сотен тысяч ликвидаторов³, которые восприняли социальные гарантии как убедительное подтверждение худших опасений в отношении последствий облучения. По факту, через двадцать пять лет после аварии из 134 ликвидаторов с подтвержденным диагнозом ОЛБ 84 человека были живы⁴. У остальных участников ЛПА последствий для

³ После принятия закона была проведена учетная компания, и были выданы порядка 600 тыс. «ликвидаторских» удостоверений.

⁴ 28 человек умерли от последствий ОЛБ в первые 100 дней после аварии, за последующие 25 лет от разных причин умерли еще 22 человека.

Таблица 6

Изменение санитарно-гигиенических нормативов на мясную и молочную продукцию в СССР и России, Бк/кг(л)

Продукты	06.05.1986	30.05.1986*)	15.12.1987**)	06.10.1988	22.01.1991	1993	1996	2001	2010
Молоко	3700	370	370	370	370	370	50	100	100
Мясо, мясопродукты		3700	1850	1850	740	600	160	160	200

Примечание:

*) ограничение по β-активности; **) ограничения по ¹³⁷Cs

здоровья, которые НКДАР ООН мог бы в настоящее время безоговорочно отнести на счет воздействия излучения, не выявлено [15, 22].

Политически мотивированные решения по социальной защите пострадавших, привязавшие льготы и компенсации к критериям, не имеющим научного обоснования, не подкрепленным реалистичными оценками доз и параметров радиационной обстановки, в конечном счете, завели ситуацию в тупик — любые попытки властей сократить объем социальных гарантий пострадавшим в условиях тяжелейшего экономического кризиса воспринимались населением РЗТ и ликвидаторами крайне остро.

Еще один фактор, многократно увеличивший масштаб косвенных последствий Чернобыля, — это выбор необоснованно низких допустимых уровней загрязнения продуктов питания.

В СССР первые послеаварийные временно допустимые нормативы (ВДУ) на содержание радионуклидов в пищевых продуктах были установлены 6 мая 1986 г. 30 мая 1986 г. был введен исключительно жесткий норматив на цезий-137 в молоке — 370 Бк/кг. После этого только в РСФСР ограничения на потребление местной сельхозпродукции и продовольственного сырья затронули территорию площадью 700 тыс. га. Следующее серьезное снижение ВДУ на продукты питания произошло в конце 1987 г. (табл. 6). Эти меры привели к тому, что в зоне жесткого контроля в 1989 г. у 95 % населения годовая доза внутреннего облучения снизилась с 15 до 2,5 мЗв [14].

Однако в феврале 1991 г. российские санитарные власти снова ужесточили ВДУ на мясо еще в 2,5 раза, а на детское питание — также в 2 раза. Соответственно в России площадь затронутых ограничениями территорий выросла в 50 раз по сравнению с 1986 г. Последовательное ужесточение нормативов продолжалось и после 1991 г. Оно не было оправданным с радиологической точки зрения и создало серьезные экономические трудности для сельскохозяйственных районов в зоне загрязнения.

Так, в 1996 г. в России были утверждены новые «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов» (СанПиН 2.3.2.560-96), где национальный норматив на содержание цезия-137 в молоке был снижен до 50 Бк/кг. В то же время в наиболее загрязненных

юго-западных районах Брянской области временный контрольный уровень (ВКУ) на молочную продукцию был установлен на уровне 185 Бк/кг. Решение о введении дифференцированных нормативов не имело должной межведомственной проработки. «Двойные стандарты» стали причиной торговой дискриминации производимой на юго-западе молочной продукции. Государственные субсидии позволяли хозяйствам в наиболее загрязненных районах Брянской области производить молоко, соответствующее ВКУ, но его нельзя было продать в других районах. Это привело к тому, что местные жители стали называть свои земли «резервацией». Главы администраций семи юго-западных районов в 2000 г. выразили свое мнение в открытом обращении к Правительству Российской Федерации следующим образом: «Мы считаем, что государственные программы должны быть направлены не на обеспечение самых низких в мире нормативов, а на устойчивое развитие наших районов и обеспечение социально-приемлемого уровня жизни людей» [23].

На практике стремление снизить дозы облучения при игнорировании базового принципа оптимизации вмешательства превращалось в самоцель и приносило больше вреда, чем пользы. В этом смысле опыт европейских стран был более успешным. Например, в Норвегии, на которую пришлось около 3 % от суммарных выпадений в Европе, более 7 тыс. км² территории оказались загрязненными радиоактивным цезием на уровне свыше 1 Ки/км² [24]. Этим территориям не присваивался какой-либо особый льготный статус, жителям не предоставлялись льготы и компенсации.

Основной защитной мерой в Норвегии было введение ограничений на загрязненную пищевую продукцию. Решения по допустимым уровням загрязнения были более взвешенными. Например, норматив на молоко был снижен в 1986 г. до 370 Бк/кг, но потом, в отличие от СССР, власти его уже не меняли. Это было вполне оправданно, поскольку специальная Комиссия ФАО/ВОЗ по безопасности продовольствия рекомендовала в качестве допустимого уровня для международной торговли молоком и другими продуктами питания значение 1000 Бк/кг (Кодекс алиментарис, 1989 г.) и в дальнейшем этот уровень не снижала.

Еще один пример оптимизации вмешательства при безусловном обеспечении радиационной безопасности населения – это регулирование норвежскими властями допустимых уровней загрязнения мяса северных оленей, в пробах которого в мае 1986 г. были обнаружены самые высокие концентрации цезия-137. В июне 1986 г. национальный норматив на содержание цезия-137 в мясе и мясной продукции был зафиксирован на уровне 600 Бк/кг. В оленине содержание цезия-137 было на два порядка выше. Разведение северных оленей – основной промысел коренного финно-угорского народа саамов. Жесткий норматив поставил под угрозу весь уклад их жизни. В связи с этим в ноябре 1986 г. контрольный уровень на мясо северных оленей был поднят до 6000 Бк/кг. Саамам, в рационе которых оленина занимает важное место, рекомендовали перед забоем переводить животных на чистые корма и использовать специальные способы приготовления мяса. Для остальных жителей Норвегии, редко употребляющих оленину, норматив 6000 Бк/кг не приводил к заметному повышению доз внутреннего облучения. В 1994 г. после измерения фактического содержания цезия-137 в оленине контрольный уровень был снижен до 3700 Бк/кг, в настоящее время он составляет 1500 Бк/кг [25].

Таким образом, еще раз подчеркнем, что масштаб косвенных последствий аварии определялся не масштабом медицинских радиологических последствий, а выбором необоснованных уровней вмешательства. В отсутствие стратегии, технической, организационной и адекватной нормативной базы, а также системы научно-технической поддержки принятия решений по управлению радиационным риском на РЗТ выбор неоправданно жестких уровней был предпринят в силу гипертрофированного восприятия обществом радиационной опасности.

Уроки аварии на АЭС Фукусима-1

Авария произошла 11 марта 2011 г. на японской АЭС Фукусима-1 в результате стихийного бедствия. Но ключевой причиной этой аварии, так же, как и в Чернобыле, стала завышенная оценка руководством отрасли и государства достигнутого уровня безопасности японских АЭС. Уроки Чернобыля японское руководство проигнорировало, как в свое время руководство СССР проигнорировало уроки тяжелой аварии на АЭС Три-Майл-Айленд. Независимая парламентская комиссия Японии, занимавшаяся расследованием причин аварии, назвала катастрофу рукотворной [26].

В 1999 г. в Японии произошла серьезная авария на заводе по переработке урана в Токаймуре. После этого был принят государственный акт по специальным мерам готовности к авариям на атомных производ-

ствах, уполномочивший регулятора (NISA) возложить эту работу. Стратегическим просчетом было то, что сами регуляторы переоценивали существующий уровень защиты АЭС от маловероятных внешних событий с высокой интенсивностью [27].

Например, регулятор разрешил операторам АЭС не рассматривать ситуацию длительного отключения внешнего электропитания из-за ее малой вероятности и наличия на станциях аварийных дизель-генераторов. В 2006 г. регулятор начал пересмотр национальных руководств по аварийной готовности с тем, чтобы привести их в соответствие с новыми международными рекомендациями. В частности, предусматривалось проведение мероприятий по усилению противоаварийной готовности в 10-км зоне АЭС Фукусима-1. Однако у регулятора возникли опасения, что местное население неправильно истолкует активизацию противоаварийной деятельности. Это может поставить под сомнение многолетние усилия отрасли по убеждению общественности в высочайшем уровне безопасности АЭС и повредить развитию перспективных работ по МОКС-топливу. Поэтому пересмотр противоаварийных руководств затягивался, и к 2011 г. не был завершен [27].

Сценарии тяжелых запроектных аварий были исключены из системы аварийной готовности. Хотя на станциях проводились противоаварийные учения и тренировки, неработоспособность национальной системы радиационного мониторинга и прогнозирования обнаружилась только в ходе аварии. Из-за значительных повреждений инфраструктуры трудно было активировать работу кризисного центра, находящегося в 5 км от станции. Через несколько дней кризисный центр пришлось передислоцировать в связи с ухудшением радиационной обстановки [27].

Так же как в свое время в СССР, игнорирование возможности тяжелых аварий в Японии привело к отсутствию:

- готовности руководства и персонала АЭС, а также органов власти всех уровней к организации радиационной защиты населения на значительных территориях с многомиллионным населением;
- технически обоснованных аварийных планов на случай аварий со значительным радиоактивным выбросом;
- специализированных сил и средств для проведения работ в условиях тяжелой аварии;
- оперативной системы научно-технической и инженерной поддержки принятия решений по управлению аварией и защите населения и территорий в острой фазе аварии.

Радиологические последствия японской аварии оказались, к счастью, весьма ограниченными. Погибших и пострадавших от лучевых поражений

среди персонала аварийной АЭС и населения не было. В первые несколько дней были превентивно эвакуированы жители 20-км зоны. Через месяц были переселены также жители территорий, где дозы за первый год могли превысить 20 мЗв. Общее количество эвакуированных в связи с аварией на АЭС Фукусима-1 — более 100 тыс. человек⁵.

К декабрю 2011 г. число участников ЛПА составляло 23 тыс. человек. Для большинства ликвидаторов эффективные дозы не превысили установленный 14.03.2011 предел дозы 250 мЗв⁶. Дозы свыше 100 мЗв зафиксированы у 174 человек, в т.ч. свыше 250 мЗв — у шести человек. Максимальные эффективные дозы получили два человека (на уровне 680 мЗв, из них 590 мЗв за счет внутреннего облучения) [27].

По данным НКДАР ООН, дополнительные дозы облучения для большинства жителей Японии в первый и последующие годы меньше доз, получаемых от естественного фонового излучения, величина которого в Японии составляет ежегодно около 2,1 мЗв; средние эффективные дозы для эвакуированных — менее 10 мЗв [28].

Отдаленных радиогенных эффектов у населения не ожидается. У участников ЛПА с дозами свыше 100 мЗв такие эффекты могут быть, но достоверно выявить их в малочисленной группе невозможно.

Отсутствие прямых радиологических последствий аварии объясняется в основном превентивной эвакуацией более 100 тыс. человек. В острой фазе при неочевидном прогнозе развития тяжелой аварии решение об эвакуации жителей из 20-км зоны было оправданным. Но эвакуация растянулась на годы. На 30 января 2015 г. около 119 тыс. человек все еще оставались в статусе эвакуированных [27].

Масштаб косвенных последствий японской аварии намного превзошел масштаб прямых радиологических последствий, прежде всего из-за затягивания решений по вмешательству и выбора неоправданных критериев.

Например, рекомендации по укрытию в домах в радиусе от 20 до 30 км от аварийной станции действовали в течение 10 дней (15–25.03.11), все это время местная инфраструктура была парализована, и десятки тысяч человек предпочли уехать. 25 марта эта территория была объявлена зоной добровольной эвакуации. Через месяц (22.04) в зону добровольной

эвакуации были также включены районы, где доза за первый год могла превысить 20 мЗв [27].

Четких оценок и долгосрочного прогноза радиационных последствий у японских властей не было практически до середины 2011 г., не были выработаны решения по основным мерам защиты, и населению сообщались кардинально отличавшиеся оценки ситуации. В то же время ИБРАЭ РАН потребовались две недели, чтобы с помощью современных программных средств и данных измерений из открытых интернет-источников получить необходимые оценки и сделать однозначный вывод о целесообразности временного отселения после острой фазы аварии только на небольшой территории с населением около 10 тыс. человек, где дозы могут превысить 100 мЗв за первый год [30].

Японские власти, ориентируясь на рекомендованный МКРЗ в 2007 г. дозовый диапазон для вмешательства 20–100 мЗв/год, выбрали в качестве критерия нижний уровень 20 мЗв/год. Исходя из непревышения выбранного дозового критерия, решение о возвращении эвакуированных людей было отложено до окончания дезактивационных работ. Прямой экономический ущерб, связанный с длительным выводом из экономического оборота порядка 1 тыс. км² густонаселенных прибрежных территорий и переселением жителей, оценивается на уровне 100 млрд. долл. США [30]. По факту на конец марта 2013 г. в префектуре Фукусима и за ее пределами были зарегистрированы 146 тыс. эвакуированных, а из бюджета Японии на преодоление последствий радиационной аварии было выделено порядка 9 млрд. долл. США [31].

Выбор 20 мЗв за первый год в качестве критерия переселения вряд ли можно назвать оптимальным с точки зрения социально-экономических последствий. Известно, что даже однократные дополнительные дозы облучения на уровне 100 мЗв не могут привести к выявляемым негативным последствиям для здоровья. В то же время вред от переселения для людей, эвакуированных по дозовому критерию, безусловно, перевесил гипотетическую пользу от снижения дозы. Негативные последствия для здоровья эвакуированных, не связанные с радиационным воздействием, суммируются в работе [32]. В числе этих последствий — высокий уровень дистресса и отдельные симптомы посттравматического стресса. Психологическая травма чаще всего была обусловлена разделением членов семей в ходе эвакуации и/или неоднократными переездами с места на место. Сотни ослабленных людей (больных, пожилых) умерли из-за плохо организованной эвакуации и длительного проживания в переполненных эвакуационных центрах. Среди причин их смерти называются неоказа-

⁵ Оценки числа эвакуированных в связи с радиационной аварией на АЭС колеблются в диапазоне от 11 760 (Комиссия ТЕРСО, 2012 г.) до 164 тыс. человек [27].

⁶ До Фукусимы предел дозы для персонала, занятого в аварийных работах, составлял 100 мЗв. Через три дня после начала аварии он был поднят до значения 250 мЗв, которое считается нижним порогом для регистрации хромосомных aberrаций в лимфоцитах [29]/

ние своевременной медицинской помощи в связи с закрытием лечебных учреждений в зоне эвакуации, физические и моральные страдания при транспортировке в эвакуационные центры, резкое изменение условий жизни после переселения в эвакуационные центры и т.п.

Для проведения дезактивационных работ за пределами площадки японские власти выбрали два референсных уровня. В так называемой «зоне экстренной дезактивации» (циркулярная 20-км зона + районы, где дополнительная доза по состоянию на осень 2011 г. могла превысить 20 мЗв/год) ответственность за все работы была возложена на японское правительство. В зоне интенсивного контроля загрязнения с прогнозируемыми годовыми дозами 1–20 мЗв очистку поручили муниципальным властям, установив 1 мЗв/год в качестве целевого уровня [27]. Общая площадь подлежащих дезактивации территорий составляет 13 тыс. км² или 3 % от всей территории Японии. Затраты на эти работы оцениваются на уровне 4,8 млрд. долл. США (370 млрд. иен). В муниципалитетах почва, грязь, листья и другой мусор с уровнями загрязнения свыше 8 кБк/кг собираются и складываются в больших пластиковых пакетах во временных хранилищах. Ожидаемый объем накопленных отходов составит порядка 16–22 млн кубометров (после сжигания растений и деревьев) [27].

Принятые японскими властями в острый период аварии допустимые уровни загрязнения продуктов питания по нескольким позициям оказались даже более жесткими, чем сегодняшние российские нормы (табл. 7).

Еще один пример непродуманных решений связан с выбором японскими властями допустимого уровня загрязнения тритием морской воды, используемой для охлаждения аварийных реакторов. Сотни тысяч тонн ЖРО, очищаемые от шестидесяти с лишним видов радионуклидов, нельзя сливать в океан и приходится хранить в цистернах на площадке из-за сверхнормативного загрязнения тритием (~630 кБк/л при допустимом уровне 60 кБк/л).

Известно, что при уровнях загрязнения воды тритием ниже 37 000 кБк/л (1,0 мКи) ни у человека, ни у лабораторных животных негативные эффекты не выявлены. Это уровень был установлен контрольными органами Великобритании в качестве допустимо-

Таблица 7

Допустимые уровни содержания ¹³⁷Cs в некоторых продуктах питания в России и Японии, 2012 (Бк/кг, Бк/л)

Продукт	Россия	Япония
Мясо и мясные продукты	160	100
Рыба и рыбные продукты	130	100
Молоко	100	50

го для сбросов ЖРО завода Селлафилд в период его наиболее интенсивной деятельности в 1971–1987 гг. Такие сбросы, хотя и с меньшей интенсивностью, продолжают по настоящее время. При этом индивидуальная доза облучения для критических групп населения составляет порядка 0,004 мЗв/год [33].

В СССР в Нормах радиационной безопасности НРБ-76/87 допустимый уровень по тритию в питьевой воде составлял 150 кБк/л⁷. В Австралии норматив по тритию для питьевой воды составляет 76 кБк/л, в Финляндии – 30 кБк/л, рекомендуемый уровень ВОЗ – 10 кБк/л, в США – 0,74 кБк/л. Выбор японскими властями уровня 60 кБк/л для морской воды демонстрирует отсутствие каких-либо серьезных научных оснований в этом вопросе [34]. В то же время в префектуре Фукусима рыболовные хозяйства продекларировали, что никогда не согласятся на сброс загрязненной тритием воды в океан, поскольку это отпугнет покупателей и разрушит их бизнес. Выход из этого тупика японские власти пока не видят.

Итак, в Японии, как и в СССР, решения властей по выбору критериев вмешательства в диапазоне малых и сверхмалых доз по существу не имели научного обоснования и исходили из обостренного восприятия радиационной опасности не только населением, но и самими представителями власти. Эти решения привели к серьезным социальным и экономическим проблемам и многократно увеличили масштаб социально-экономических последствий аварии.

Актуальные задачи совершенствования системы радиационной защиты населения и территорий

Чернобыльская авария повлияла на последующее развитие атомной энергетики во всех странах. Из нее был вынесен целый ряд уроков по совершенствованию конструкций реакторов, культуры безопасности, нормативных документов, обоснований безопасности и т.д.

На всех российских АЭС были проведены дополнительные исследования возможных аварийных ситуаций и путей их преодоления, проведена соответствующая модернизация систем безопасности. В результате предпринятых мер вероятность серьезных аварий на реакторах проекта РБМК уменьшилась примерно на два порядка. Блоки первого поколения были остановлены и начаты работы по выводу их из эксплуатации (Белоярская и Нововоронежская АЭС).

Произошли радикальные перемены в деятельности надзорных органов, были разработаны новые

⁷ В настоящее время в НРБ-99/2009 уровень вмешательства (УВ) для трития составляет 2 кБк/л.

правила ядерной безопасности, которые, в частности, включали требование о создании систем управления запроектными авариями в качестве одного из барьеров глубокоэшелонированной защиты.

В наибольшей степени технические уроки ЧАЭС и Фукусимы были учтены в российских проектах АЭС третьего поколения: безопасность реакторов ВВЭР обеспечивается сочетанием пассивных и активных систем безопасности, резервированием оборудования и разделением систем безопасности. Например, в случае максимальной проектной аварии двухконтурные схемы воздушного охлаждения позволили увеличить время отвода тепла от реактора без участия персонала с 24 до 72 ч. В проектах третьего поколения предусмотрены также «ловушка расплава», двойная защитная оболочка из предварительно напряженного бетона, спринклерная система, «дожигатели» водорода⁸. Обеспечена низкая чувствительность к ошибкам персонала при управлении авариями; срок службы основного оборудования увеличен до 60 лет. В проекте учитывается комплекс «запроектных» аварий, включая различные экстремальные внешние воздействия, как по отдельности, так и в сочетании. Проводившиеся в 2012 г. стресс-тесты на устойчивость к внешним аномальным воздействиям и проверки противоаварийной готовности подтвердили соответствие российских АЭС современным требованиям безопасности.

Существенные изменения произошли также в системе подготовки и обучения эксплуатационного персонала АЭС. Важнейшей составляющей этой системы стало обучение на тренажерах. В отрасли создана мощная ведомственная система аварийного реагирования. В ее составе – группа ОПАС, аварийно-технические центры и 14 центров технической поддержки управленческих структур и операторов ядерных установок. В ситуационно-кризисном центре концерна Росэнергоатом в режиме он-лайн специалисты могут контролировать сотни параметров, важных для безопасности. Отраслевая система аварийного реагирования тренируется и тестируется каждый год по несколько раз, причем преимущественно на тяжелоаварийных сценариях.

В соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты десятки миллиардов долларов США вкладываются в развитие технических систем безопасности и локализации тяжелых аварий на реакторных установках АЭС. Эти системы должны обеспечить надежность четырех барьеров безопасности [35]:

1. Предотвращение нарушений нормальной эксплуатации и отказов.

2. Контроль за нарушениями нормальной эксплуатации и обнаружение отказов.
3. Контроль аварий в пределах проектных основ.
4. Контроль тяжелых состояний станции, включая предотвращение развития аварии и смягчение последствий тяжелых аварий.

В то же время развитию пятого барьера безопасности – аварийного реагирования за пределами площадки – в мире, в т.ч. и в России, до сих пор уделяется недостаточно внимания. И это при том, что именно система радиационной защиты населения и территорий определяет общий масштаб последствий тяжелой аварии для общества, а механизмы масштабирования последствий понятны и управляемы.

В результате аварии на ЧАЭС были эвакуированы 116 тыс. человек, после Фукусимы – 170 тыс. человек. В то же время, по крайней мере 70 из 211 действующих в мире атомных станций расположены на более плотно заселенных территориях, чем АЭС Фукусима-1, т.е. в радиусе 30 км от этих 70 станций проживают более 172 тыс. человек; в т.ч. для 21 станции численность населения в 30-км зоне свыше 1 млн человек, для шести станций – свыше 3 млн человек [36].

Сложность задач, которые возникают при необходимости обеспечить эффективную защиту таких больших групп населения при радиоактивном выбросе, обусловлена в первую очередь их междисциплинарным, а значит, межведомственным характером. Некоторые экономически развитые ядерные страны, например, США и Франция, продвинулись в этом направлении больше других, но и у них система радиационного нормирования не свободна от серьезных внутренних противоречий.

Коротко рассмотрим основные вехи в пост-чернобыльском развитии системы радиационной защиты населения и территорий в России.

Задача создания единой государственной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), действующей по всей стране, была поставлена на государственном уровне еще в 1987 г. Однако первая территориальная АСКРО была введена в эксплуатацию только через 20 лет в Мурманской области⁹. К настоящему времени в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.» территориальные АСКРО созданы еще в 28 субъектах Российской Федерации¹⁰. Эти мас-

⁹ Проект по совершенствованию системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования в Мурманской области проводился с участием ИБРАЭ РАН в рамках Соглашения о многосторонней ядерно-экологической программе в Российской Федерации (МНЭПР).

¹⁰ На середину 2015 г. в Российскую Федерацию входили 85 субъектов, включая Крымский регион.

⁸ Вопросы водородной безопасности сохраняют свою актуальность при запроектной аварии.

штабные работы проводились совместными усилиями разных организаций, прежде всего ИБРАЭ РАН и НПО «Тайфун», по заказу МЧС России, Росатома и Росгидромета.

Функциональные подсистемы мониторинга и реагирования, входящие в состав Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), ориентированы на решение ведомственных задач. Координация принятия решений и управление реагированием на федеральном уровне осуществляет Правительственная комиссия. Например, после объявления японскими властями состояния ядерной аварии на АЭС Фукусима-1 по поручению Правительства РФ к анализу ситуации в Японии и прогнозированию радиационной обстановки на российской территории были подключены ГК «Росатом», МЧС России, Росгидромет и ИБРАЭ РАН. Специалисты ИБРАЭ РАН провели моделирование развития аварии отдельно на каждом из шести блоков АЭС Фукусима-1 и в бассейнах выдержки отработанного ядерного топлива и прогнозирование параметров радиационной обстановки с учетом параметров метеорологической и гидрологической обстановки. Расчеты выполнялись с использованием отечественного программного кода СОКРАТ, предназначенного для анализа аварий на АЭС и соответствующего по своим характеристикам лучшим мировым аналогам [37], программного комплекса прогнозирования радиационной обстановки НОСТРАДАМУС и др. программных средств. Оперативный вывод специалистов ИБРАЭ РАН об отсутствии радиационной опасности для российского Дальнего Востока даже при наихудшем сценарии развития аварии в Японии, правительство РФ получило уже на второй день аварии. Этот вывод стал основой при выработке мер реагирования РСЧС и был использован при информировании населения через СМИ [38].

Важно понимать, что в силу чрезвычайной редкости радиационных аварий специфика принятия решений по радиационной защите населения неизбежно оказывается на периферии внимания региональных властей. В случае реальной радиационной аварии власти оказываются в еще более сложной ситуации. Например, опыт участия ИБРАЭ РАН в принятии решений по мерам вмешательства после радиационной аварии в г. Электросталь в апреле 2013 г. [39] показал, что на практике принцип оптимизации радиационной защиты не понимается и не реализуется, а при выборе дозовых критериев и производных уровней вмешательства продолжает превалировать чрезмерно консервативный подход. В то же время оперативно подготовленные с участием специалистов ИБРАЭ РАН карты радиационной обстановки и детальные прогнозы радиологических последствий

реально помогли администрации г. Электросталь и руководству Московской области принять достаточно взвешенные решения, не вводить в городе необоснованный в данной ситуации режим ЧС и избежать тем самым дополнительных социально-экономических потерь.

В этой ситуации целесообразным представляется развитие государственной системы научно-технической поддержки принятия решений по радиационной защите населения и территорий. Такой подход реализован, например, в США и во Франции.

В США в случае радиационных аварий с угрозой для населения и территорий (реальной или воспринимаемой как реальная) необходимо содействие органам власти всех уровней, в т.ч. при выработке мер вмешательства, оказывает специальная экспертная организация под управлением Национальной администрации по ядерной безопасности (Департамент энергетики США). В задачу этой группы также входит организация взаимодействия федеральных агентств, государственных и местных органов власти на практическом уровне, в т.ч. в ходе совместных тренировок, учений, разработки и согласования аварийных планов [40].

Во Франции аналогичные задачи решает Технический центр аварийного реагирования при Институте ядерной безопасности и радиационной защиты (IRSN). Три с лишним сотни высококвалифицированных сотрудников Технического центра обеспечивают работу центра в режиме постоянной готовности. Междисциплинарный и межведомственный подход гарантируется статусом IRSN, который находится под юрисдикцией нескольких министерств (обороны, экологии, промышленности исследований и здравоохранения).

В заключение выскажем еще несколько соображений по проблеме оптимизации решений при выборе критериев вмешательства.

Развитие постиндустриального общества в наиболее развитых странах мира привело к тому, что управление рисками стало одной из наиболее приоритетных общественных задач. Поскольку оценка риска всегда имеет некоторую неопределенность, начиная с 1990-х гг. актуальность принципа предосторожности в отношении практик, способных нанести вред здоровью человека и природе, все шире признается в международной научно-технологической, экологической, биомедицинской, промышленной и торговой политиках. В 2000-е гг. принцип предосторожности декларируется в документах различных организаций ООН, и в 2005 г. ЮНЕСКО выпускает специальный доклад о принципе предосторожности, где подчеркивает, что главная цель внедрения принципа предосторожности — это «создание этической основы

для управления рисками и информирования общественности и политиков о возможных негативных эффектах появляющихся новых технологий» [41].

В международной системе радиационной защиты принцип предосторожности стал применяться как инструмент управления радиационным риском еще в конце 1970-х, когда МКРЗ официально приняла беспороговую концепцию в качестве основы радиационного нормирования (26 Публикация МКРЗ, 1977 г. [42]). Последовательное развитие этого принципа привело МКРЗ к тому, что в 2007 г. комиссия рекомендовала в качестве нижнего референтного уровня значение 1 мЗв/год вместо рекомендованного ранее (МКРЗ Публикация 82 и др.) нижнего значения уровня вмешательства 10 мЗв/год¹¹.

В то же время в качестве центрального принципа системы радиационной защиты Комиссия еще в 1977 г. провозгласила принцип оптимизации, подчеркнув, что «оптимизация защиты не есть минимизация дозы» [43]. Принцип оптимизации, по мнению Комиссии, «должен равно применяться ко всем ситуациям облучения, включая ситуации аварийного облучения... Процесс оптимизации должен быть систематичным и тщательно структурированным, чтобы учесть все необходимые аспекты».

Следует отметить, что понимание важности гармонизации национальной нормативно-правовой базы в области радиационной безопасности и защиты на основе рекомендаций МКРЗ и МАГАТЭ для «исключения масштабирования ущербов от радиационных инцидентов и аварий с малыми и ничтожными радиологическими последствиями при безусловном обеспечении защиты человека и окружающей среды» отражено в протоколе заседания Межведомственной комиссии Совета Безопасности Российской Федерации по экологической безопасности от 24.03.2011. Реализация этой задачи по-прежнему остается актуальной.

Однако прошлый опыт показывает, что процесс принятия решений в ранний период тяжелой аварии на АЭС имеет существенные особенности по сравнению с другими ситуациями облучения. А именно, практически для всех участников процесса оптимизации характерно острое восприятие радиационной опасности. Исключение составляют специалисты в области радиационной защиты, но они, как правило, не могут четко декларировать отсутствие риска из-за провозглашенного МКРЗ этического принципа предосторожности. В этой ситуации на первый план закономерно выходит не принцип оптимизации, а этический принцип предосторожности. Поэтому в ситуации аварийного облучения нужна гораздо бо-

¹¹ При этом МКРЗ считает допустимой годовую дозу облучения за счет радона в помещениях на уровне 10 мЗв [43].

лее четкая проработка обоснований для выбора национальных дозовых критериев вмешательства, чем предлагаемый МКРЗ коридор 100–20–1 мЗв/год¹².

Решение этого и других вопросов практической оптимизации требует «систематической целенаправленной работы на всех уровнях и во всех заинтересованных организациях, так же как и выделения средств и ресурсов для ее проведения» [43]. Для России наиболее эффективным форматом решения комплексных междисциплинарных и межведомственных задач такого рода является создание и развитие единой государственной системы научно-технической поддержки принятия решений по радиационной защите населения и территорий.

При соответствующем внимании и финансировании единая государственная система может обеспечить развитие и поддержание на должном уровне пятого барьера безопасности в системе глубоководной защиты, позволяющего исключить масштабирование ущербов от радиационных инцидентов и аварий.

Выводы

1. Главной предпосылкой чернобыльской и фукусимской аварий стала завышенная оценка достигнутого уровня безопасности атомных станций в части возможности предотвращения и локализации тяжелых аварий.
2. В современных проектах российских АЭС третьего поколения существенно повышен уровень безопасности за счет разработки и создания новых активных и пассивных систем и систем локализации тяжелых аварий. Значительное развитие получила отраслевая система аварийного реагирования.
3. В 2008–2015 гг. в рамках реализации ФЦП по обеспечению ядерной и радиационной безопасности в 28 субъектах РФ созданы территориальные системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования. Получили развитие также ведомственные системы реагирования на радиационные аварии МЧС России, ФМБА, Минпромторга и Росгидромета.
4. В то же время развитию системы радиационной защиты населения и территорий до сих пор уделяется недостаточное внимание. Опыт прошлых аварий показывает, что недостаточное внимание к научно-техническим, нормативно-правовым и социально-психологическим проблемам, с которыми сталкиваются руководители федерального и

¹² При радиационной аварии в диапазоне 20–100 мЗв вмешательство признается целесообразным, при этом конечной целью управления радиационным риском является достижение уровня 1 мЗв/год [43].

регионального уровня при принятии решений по защите населения и территорий, в т.ч. при выборе дозовых критериев и производных уровней вмешательства, приводит к многократному масштабированию последствий радиационных аварий.

5. Сохраняющаяся уязвимость пятого уровня системы глубокоэшелонированной защиты АЭС ставит в число наиболее актуальных задач обеспечения эффективной защиты населения и территорий при радиационных авариях разработку системных требований к научно-технической поддержке и нормативно-правовой базе, не уступающих современным требованиям, предъявляемым к системам, важным для безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Energy, electricity and nuclear power: developments over 25 years and future projections. — Vienna: IAEA. 2007. <http://www-pub.iaea.org>.
2. The Database on Nuclear Power Reactors. <https://www.iaea.org/pris>.
3. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008. Scientific annex C. Exposures in accidents. — New York: United Nation. 2011. 44 pp. <http://www.unscear.org>.
4. World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements. <http://www.world-nuclear.org>.
5. Мелихова Е.М., Быркина Е.М., Першина Ю. А. О некоторых механизмах социального усиления риска для здоровья при освещении в СМИ аварии на АЭС Фукусима // Мед. радиол. и радиац. безопасность. 2013. Т. 58. № 4. С. 5–16.
6. Пресс-релиз МАГАТЭ, ВОЗ и ПРООН от 5 сентября 2005 г. «Чернобыль: истинные масштабы аварии». <http://www.who.int>.
7. Арутюнян Р., Линге И., Мелихова Е. Диалог с общественностью о безопасности атомной энергетики: уроки Чернобыля // Бюл. по атом. энергии. 2003. № 2. С. 54–58.
8. Линге И.И., Мелихова Е.М., Панфилов А.П. Последствия аварии на Чернобыльской АЭС по итогам работы Чернобыльского форума // Бюл. по атом. энергии. 2006. № 4. С. 24–29.
9. Константинов Ю.О. Чернобыльская авария: обоснование и реализация решений по защите населения // Радиационная гигиена. 2011, Т. 4. № 2. С. 59–67.
10. Доклад комиссии Госпроматомнадзора СССР «О причинах и обстоятельствах аварии на 4 блоке Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г.». 1991 г.
11. Гуськова А.К. Атомная отрасль страны глазами врача. — М.: Реальное Время. 2004. 204 с.
12. Ильин Л.А. Реалии и мифы Чернобыля. Изд. 2-е. — М.: ALARA Limited. 1996. 494 с.
13. Временные методические указания для разработки мероприятий по защите населения в случае аварии ядерных реакторов. Утв. Гл. сан. врачом СССР 18/7 1970 г. — М. 1971. 46 с.
14. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и соавт. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под общей ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. — М.: ИздАт. 2001. 752 с.
15. Последствия облучения для здоровья человека в результате Чернобыльской аварии. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Научное приложение D к Докладу НКДАР ООН 2008 г. Генеральной Ассамблеи ООН. — Нью-Йорк. 2012. <http://www.unscear.org>.
16. Герасимов Г.А., Фигге Д. Чернобыль: двадцать лет спустя // Клин. и эксперим. тиреоидология. 2006. Т. 2. № 2. С. 5–14.
17. Бархударов Р.М. Чернобыль: размышления о некоторых уроках аварии. — М.: ИБРАЭ РАН. 2009. 60 с.
18. Гуманитарные последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Стратегия реабилитации. Отчет экспертной миссии по заказу ПРООН и ЮНИСЕФ при поддержке УКГД ООН и ВОЗ. — Нью-Йорк—Минск—Киев—Москва. 2002. <http://www.un.org>.
19. Романович И.К. Актуальные задачи радиационной гигиены в свете итогов ФЦП ЯРБ // В сб. «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: Сб. материалов юбилейной X Российской научной конференции, 22–25 сентября 2015 г., Москва, Обнинск». Под ред. Л.А. Большова. — М.: ООО «САМ Полиграфист». 2015. 144 с.
20. Hendry J.H., Simon S.L., Wojcik A. et al. Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks? // J. Radiol. Prot.. 2009, V. 29, P. A29–A42. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4030667/pdf/nihms573062.pdf>
21. A. Abbot. Researchers pin down risks of low-dose radiation // Nature. 2015. № 523, P. 17–18.
22. Медицинские радиологические последствия Чернобыля: прогноз и фактические данные спустя 30 лет. Под общей ред. В.К. Иванова, А.Д. Каприна. — М.: ГЕОС. 2015. 450 с.
23. Мелихова Е.М., Панченко С.В., Абалкина И.Л. и соавт. Радиация. Экономика. Жизнь. Новый взгляд на юго-запад Брянской области. — М.: ИБРАЭ РАН. 2001. 24 с.
24. Израэль Ю.А. Радиоактивное загрязнение природных сред в результате аварии на Чернобыльской атомной станции. — М.: Комтехпринт. 2006. 28 с.
25. Liland A., Skuterud L. Lessons learned from the Chernobyl accident in Norway // Radioactivity in the Environment. 2013, V. 19, P. 159–176.
26. The National Diet of Japan. The Official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent

- Investigation Commission. Executive summary. 2012. <https://www.nirs.org>.
27. The Fukushima Daiichi accident. Report by the Director General. IAEA. GC(59)/14. — Vienna: IAEA. 2015. 209 pp. <http://www-pub.iaea.org>.
28. UNSCEAR 2013. Report to the General Assembly. Scientific annex A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 Great East-Japan earthquake and tsunami. New York: United Nations. 2014, V.1. 311 pp.
29. Yasui S. Temporary Increase in the Emergency Exposure Dose Limit in Response to the TEPCO Fukushima Daiichi NPP Accident and its decision-making process // *J. Occup. Environ. Hyg.* 2015, V. 12. № 4, P. 35–42. <http://www.ne.jp/asahi/ocean/syasui/publications/250msv.pdf>
30. Арон Д.В., Арутюнян Р.В., Большов Л.А. и соавт. Анализ зависимости возможных социально-экономических последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» от критериев вмешательства // В кн. «Труды ИБРАЭ РАН. Вып. 13: Авария на АЭС «Фукусима-1»: опыт реагирования и уроки. Науч. ред. Р.В. Арутюнян. — М.: Наука. 2013. 246 с.
31. Yokoyama S. How to face concerns of radiation effects. Fujita Health University. <http://www.meti.go.jp>.
32. Hasegawa A., Tanigawa K., Ohtsuru K. et al. From Hiroshima and Nagasaki to Fukushima. 2. Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima // *Lancet.* 2015. V. 386. № 1, P. 479 – 488. <http://www.thelancet.com>.
33. Саркисов А.А., Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В., Никитин В.С. Проблемы радиационной реабилитации арктических морей, способы и пути их решения // *Арктика. Экология и экономика.* 2011. № 1. С. 70–81. <http://en.ibrae.ac.ru>.
34. Leslie C.L. Background Information on Tritium. <http://www.hiroshimasymndrome.com>
35. Основные принципы безопасности атомных электростанций. 75-INSAG-3 Rev. 1. INSAG-12. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. — Вена: МАГАТЭ 2015. <http://www-pub.iaea.org>.
36. Butler D. Reactors, residents and risk // *Nature*, published online 21 April 2011. <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>
37. Долганов К.С., Капустин А.В., Киселев А.Е. и соавт. Результаты экспресс-расчетов тяжелой аварии на АЭС «Фукусима-1» при помощи кода СОКРАТ // В кн. «Труды ИБРАЭ РАН. Вып. 13: Авария на АЭС «Фукусима-1»: опыт реагирования и уроки. Науч. ред. Р.В. Арутюнян. — М.: Наука. 2013. 246 с.
38. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Павловский О.А. Актуальные задачи совершенствования готовности к реагированию на чрезвычайные ситуации радиационного характера // В кн. «Труды ИБРАЭ РАН. Вып. 13: Авария на АЭС «Фукусима-1»: опыт реагирования и уроки. Науч. ред. Р. В. Арутюнян. — М.: Наука. 2013. 246 с.
39. Арутюнян Р.В. Реагирование на радиационный инцидент на ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения». Позитивные уроки. Презентация к докладу. <http://www.osatom.ru>.
40. Radiological Assistance Program. <http://www.nnsa.energy.gov>.
41. The Precautionary Principle. World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology (COMEST). — Paris: UNESCO. 2005. 56 pp. <http://unesdoc.unesco.org>.
42. ICRP, 1977. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3). <http://www.icrp.org>.
43. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. Под ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. — М.: ООО ПКФ «Алана». 2009. 344 с. <http://www.icrp.org>.
44. Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources. — Paris: OECD. 2010. NEA No. 6861. 52 pp. <http://www.oecd-nea.org>.
45. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000. Scientific annex J. Exposures and effects of the Chernobyl accident. — New York: United Nation. 2001. P. 453–566. <http://www.unscear.org>.
46. Nuclear power reactors in the world. — Vienna: IAEA. 2015. IAEA-RDS-2/35. 85 pp. <http://www-pub.iaea.org>.
47. Большов Л.А., Арутюнян Р.В., Линге И.И. Чернобыльская катастрофа. Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России. 1986–1999. — М.: ИБРАЭ РАН. 1999. 36 с. <http://ibrae.ac.ru>.
48. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Линге И.И., Воробьева Л.М. Экологическая безопасность производственной деятельности и риски в атомной отрасли // *Росэнергоатом.* 2006. № 4. С. 28–31.

Поступила: 15.03.2016

Принята к печати: 22.03.2016