

Ядерные аварии: последствия для человека, общества и энергетики

Л.А. Большов, Р.В. Арутюнян, И.И. Линге, И.Л. Абалкина

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук,
Москва, Россия

Статья рассматривает вопросы радиационно-гигиенического нормирования при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в контексте взаимосвязи с другими аспектами, прежде всего, социально-экономическими и политическими факторами. Этот опыт целесообразно учитывать при установлении критериев в других областях нормирования, например, при классификации радиоактивных отходов и реабилитации территорий. В статье представлен анализ общих черт и отличий ядерных аварий в промышленности и энергетике. Отмечается, что масштаб глобальных последствий аварии на Чернобыльской АЭС определяется как масштабным выходом радиоактивности в окружающую среду, так и принадлежностью установки к энергетическому сектору. При крупных радиационных авариях затрагиваются самые разнообразные сферы жизнедеятельности человека, что, в свою очередь, обуславливает ответную волну реагирования со стороны общества и его институтов, включая вовлечение политических механизмов урегулирования. Если последние нацелены на использование научно обоснованных и практически реализуемых критериев, это создает предпосылки для минимизации социально-экономических последствий. В других случаях такие политические решения, как останов энергоблоков, свертывание атомной энергетики, являются экономической ценной, которую общество в целом и отдельная отрасль платят в качестве компенсации негативной общественной реакции. В статье показаны принципиальные изменения подходов к обеспечению ядерной и радиационной безопасности, которые произошли за прошедший после аварии на Чернобыльской АЭС период. Многоплановые и негативные последствия чернобыльской аварии для человека и общества в определенной степени компенсируются более высоким уровнем безопасной эксплуатации, аварийной готовности и безопасности жизненного цикла. В статье отмечается, что для практического решения проблем наследия важными являются гармонизация и приведение во взаимное соответствие нормативных документов, затрагивающих различные аспекты ядерной и радиационной безопасности. В качестве примеров рассмотрены вопросы разработки нормативных документов по критериям отнесения к радиоактивным отходам и вопросы реабилитации радиационно загрязненных территорий.

Ключевые слова: ядерная авария, последствия аварии на Чернобыльской АЭС, ядерная и радиационная безопасность, реабилитация.

Введение

Изучение медицинских, экологических и иных последствий аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) проводилось национальными и международными организациями и группами экспертов с 1986 г. На протяжении трех десятилетий проверялись и подкреплялись данными многолетних наблюдений ранее сделанные выводы о масштабе радиологических последствий [1–3]. Другие последствия аварии на ЧАЭС глобальны – их влияние можно назвать значимым для развития цивилизации в целом, и для их проявления потребовались годы и десятилетия. Это касается долгосрочных трендов в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности и изменений в энергетическом секторе в целом.

Цель исследования – попытка осмысления тех долговременных изменений, которые происходили в обществе и энергетике под влиянием аварии на ЧАЭС за прошедшее время. Опыт преодоления последствий аварии на ЧАЭС применительно к вопросам радиационной гигиены сегодня оказывается востребованным при решении задач ликвидации ядерного наследия и развития нормативно-правовой базы в области ядерной и радиационной безопасности.

1. Радиационно-гигиенические аспекты

Широкий спектр проблем в области радиационной защиты человека и объектов окружающей среды, связанный с аварией на ЧАЭС, включает как минимум четыре проблемные зоны, непосредственно относящиеся или прямо прикасающиеся к тематике радиационной гигиены. Во-первых,

Абалкина Ирина Леонидовна

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской Академии наук

Адрес для переписки: 115191, Россия, Москва, ул. Большая Тульская, д. 52. E-mail: abalkina@ibrae.ac.ru

это объективная и надежная оценка параметров радиационного воздействия, их прогнозирование, в том числе на длительный период и с учетом необходимости выработки и реализации мер защиты. Во-вторых, это собственно разработка и реализация системы мер, затрагивающих не только условия проживания и жизнедеятельности, но и их радикальное изменение в случае, например, переселения. В-третьих, это создание систем радиационно-эпидемиологических наблюдений различного уровня для решения научных задач и, самое главное, подтверждения надежности принятых мер защиты. И, наконец, решение широкого круга задач социальной защиты и компенсаций, оказывающихся, как правило, неизбежными при возникновении проблем подобного масштаба и специфики.

Все реализованные концепции защиты в послеварийный период основывались на дозовых подходах, хотя уже в первые годы после аварии выдвигались более простые, с точки зрения практической реализации, идеи. Теоретически они позволили бы уйти как от сложностей измерений и расчетов, так и от смысловых нестыковок в общественном вос-

приятии радиационного риска, обусловленных трудностями понимания мер защиты, радиологических критериев и последствий превышения установленных нормативов. С другой стороны, в российском контексте первоначально речь шла о 200 000 жителей ограниченной по площади территории, затронутой аварией, поэтому аргументы в пользу такого упрощения были не очевидны.

Подходы к зонированию территорий, реализованные в законодательстве 1991 г. и ставшие основанием для реализации мер социальной защиты на позднем этапе, представляли собой «эклетику смесь основных и производных уровней» [4]. Необоснованное вовлечение в сферу воздействия аварии на позднем этапе многих сотен тысяч человек (табл. 1) привело к политизации вопросов зонирования и консервации статуса зоны радиоактивного загрязнения на длительный период. Помимо прочих негативных последствий, это создало нерешимые логические трудности при объяснении населению радиационного риска вообще и его места в структуре фактических рисков для здоровья.

Таблица 1

Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на ЧАЭС в послеварийный период

[Table 1

Radiation-hygienic aspects of overcoming of the consequences of the Chernobyl NPP accident in the post-accident phase

Эволюция дозовых подходов [Evolution of the dose approaches]	1988–1989 гг. – концепция предела дополнительной дозы за жизнь 350 мЗв [1988–1989 years – conception of the lifetime extra dose limit equal to 350 mSv]	1991 г., Закон РФ № 1244-1 – > 1 мЗв/год зоны загрязнения при дозах > 1 мЗв/год; плотности загрязнения > 1 Ки/км ² [1991 year, Federal law № 1244-1 Contaminated zones – > 1mSv/year Soil contamination > Ci/km ²]	2016 г., предложения по критериям – 1 мЗв/год для критической группы [2016 year, a proposal on the criterion of 1 mSv/year for critical population group]
	Единых международных критериев нет. Публикация 103 МКРЗ – референтные уровни в ситуациях существующего облучения в диапазоне 1–20 мЗв/год [There are not unified international criteria. Publication 103 ICRP – reference levels in situation of existing exposure in the range of 1–20 mSv/year]		
Число жителей в зоне загрязнения [Population of the contaminated areas]	До 1991 г. – 200 тыс. человек [Until 1991 population was 200 thousand people]	1991 г. >2600 тыс. человек [In 1991 population was >2600 thousand people]	2015 г. – 1500 тыс. человек [In 2015 population was 1500 thousand people]
	Предложения ИБРАЭ РАН 1995 г. и др. – 200 тыс. человек [The proposal of IBRAE in 1995 and others is 200 thousand people]		
Радиационно-эпидемиологические исследования [Radiation-epidemiological studies]	1986 г. – старт работ на базе МРНЦ РАМН [In 1986 studies on the base of the Medical Radiological Research Centre were started]	1993 г. – создание РГМДР [RNMDR was established in 1993]	1995 г. – Чернобыльский форум [Chernobyl forum was established in 1993]
	1986 г. по настоящее время, ведение наблюдений и исследований, подтверждение ограниченности радиологических последствий [Monitoring and studying of radiological consequences have been conducting since 1986 till present time]		
Социально-экономические аспекты принятия гигиенических нормативов [Social-economic aspects of the enactment of hygienic regulations]	1996 г., СанПиН 2.3.2.560-96 – содержание цезия-137 в молоке 50 Бк/л, ВДУ для загрязненных районов – 370 Бк/л (впоследствии 185 Бк/л) [In 1996, SanPiN 2.3.2.560-96 Cs-137 concentration in milk is 50 Bq/l, Temporary Permissible Level for contaminated areas is 370 Bq/l (later 185 Bq/l)]	2001 г., СанПиН 2.3.2.1078-01 – содержание цезия-137 в молоке 100 Бк/л (в загрязненных районах начал действовать с сентября 2002 г.) [In 2001, SanPiN 2.3.2.1078-01 Cs-137 concentration in milk is 100 Bq/l (In contaminated areas was implemented since September, 2002)]	
	Двойные стандарты, спад местного производства [Double standards, decline in local production]		

Проблема радиационно-гигиенического нормирования, как показал чернобыльский опыт, не исчерпывается вопросами научного обоснования критериев, которые используются в нормировании, и методологии их оценки. Есть много аспектов, которые непосредственно выходят на экономику и социальную сферу и которые должны быть приняты в расчет, например, при установлении нормативов на содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. Намерение сделать нормативы максимально жесткими может быть благим, но цена такого решения не должна быть разрушительной. Выбор реабилитационных мероприятий и оценка их эффективности должны рассматриваться в комплексе и увязываться экономические, социальные и экологические аспекты качества жизни [5].

В последнее время возобновилось активное обсуждение вопросов пересмотра принципов зонирования, в том числе рассмотрение критериев и концепций перевода территорий к условиям нормальной жизнедеятельности на РНКРЗ, в научных докладах и публикациях, в том числе на Симпозиуме «30 лет аварии на Чернобыльской АЭС: анализ, уроки, выводы на будущее», организованном Российской академией наук совместно с МЧС России и Госкорпорацией «Росатом». Имеются убедительные дозовые оценки, демонстрирующие, что даже в Брянской области облучение населения области за счет глобальных выпадений и аварии составляет всего 2,5%, тогда как основной вклад в годовую дозу облучения вносят природные источники и медицина [6]. Большинство специалистов и практических работников в сфере преодоления последствий радиационных аварий считают необходимым внесение изменений в действующее законодательство для изменения статуса зон радиоактивного загрязнения населенных пунктов с целью концентрации усилий на наиболее загрязненных территориях и пострадавших контингентах, сокращения неоправданно расширенного круга вовлеченных и сохранения обоснованных социальных выплат.

2. Ядерные аварии в энергетике и промышленности

Понятие «ядерная авария» воспринимается и трактуется различным образом, даже когда об этом говорят специалисты. Одни воспринимают ее как аварию с потерей критичности и началом самоподдерживающейся цепной реакции. В других случаях, в том числе и в документах МАГАТЭ, это понятие трактуется более широко: ядерной аварией называется «любое внезапное или случайное происшествие или последовательность событий, обусловленное развитием неконтролируемой цепной реакции или неконтролируемым выходом радиоактивного материала» [7].

Масштаб глобальных последствий аварии на ЧАЭС во многом определяется тем, что она произошла в относительно новой области энергетики, темпы и параметры развития которой тесно связаны с ключевыми показателями устойчивого развития. Покажем это на сравнении аварии на ЧАЭС с ядерными авариями, которые имели место в промышленности.

В мировой атомной промышленности произошло не менее 22 ядерных аварий с возникновением самоподдерживающейся цепной реакции, в результате которых имело место 9 смертельных исходов. Приведем важнейшие из констатаций наиболее авторитетного обзора [8]:

Ни одна из аварий не привела к значительным радиационным последствиям ни для людей, ни для окружающей среды за пределами территории установки. Это подтверждает обычно высказываемое суждение, что по последствиям для персонала и окружающей среды аварии с возникновением критичности подобны небольшим, в масштабе рабочего стола, химическим взрывам, то есть это проблема безопасности отдельных работников.

– Ни одну из аварий нельзя приписать исключительно отказу оборудования.

– Ни одну из аварий нельзя объяснить ошибочными расчетами, сделанными аналитиками – специалистами по критичности.

– Многие аварии произошли во время нестандартных операций. Однако число аварий слишком мало, чтобы вывести какое-либо твердое заключение.

– Административные соображения, а не масштабы аварии, как правило, определяли продолжительность времени после аварии, в течение которого установка не работала.

– Не наблюдалось никаких новых физических явлений. Все аварии могут быть объяснены на базе существующих в настоящее время знаний.

– Ряд констатаций – относительно причин аварий, наблюдаемых физических явлений – верен для всех рассматриваемых случаев. В основе ряда ядерных аварий (Челябинск-70, 1968 г.; РНЦ «Курчатовский институт», 1971 г.) лежали грубые нарушения правил техники безопасности и действующих инструкций.

В оценке причин аварии на ЧАЭС специалисты единодушны: это техническое несовершенство конструкций реактора в сочетании как с ошибочными действиями персонала станции, так и сложившейся в СССР практикой пренебрежения установленными правилами и нормами. Авария на ЧАЭС, как и аварии в атомной промышленности, не выявила никаких новых физических явлений, которые ранее не являлись бы предметом изучения [9]. Констатация того факта, что многие аварии произошли во время нестандартных операций, применима и к аварии на ЧАЭС. С рядом оговорок можно согласиться и с тем, что ни одну из аварий нельзя объяснить ошибочными расчетами специалистов по критичности.

К числу принципиальных отличий относится, прежде всего, масштабный выход радиоактивности в окружающую среду и глобальное радиоактивное загрязнение, ставшее следствием аварии на ЧАЭС. Неотложные меры защиты, включая эвакуацию, потребовались для более чем ста тысяч человек, ограничительные, в том числе долговременные – для миллионов людей. Гуманитарные последствия аварии, обусловленные опасениями, связанными с радиацией, затронули десятки миллионов человек во всем мире и на длительный период.

Другим принципиальным отличием является принадлежность установки к энергетическому сектору, который уже определенное время находился в центре экологических дискуссий. Резкий рост нефтяных цен в 1970-е гг., формирование зеленого движения и партий обусловили повышенное внимание к программам энергообеспечения и энергосбережения. Если авария на Три-Майл Айленде была неожиданной, то авария на ЧАЭС стала разрушительной для имиджа отрасли (а не отдельной компании, что было характерно для крупных аварий в других отраслях) и явилась причиной продолжительной стагнации в

атомной энергетике развитых стран. Рост атомной генерации в последующие годы поддерживался в немалой степени за счет развивающихся стран – Китая, Южной Кореи, Индии (табл. 2).

В атомной отрасли следствием аварии на ЧАЭС стали и понятие «культура безопасности», и дальнейшее развитие регулирующих основ на национальном и международном уровнях, в том числе принятие Конвенции

Число и установленная мощность атомных реакторов в некоторых странах мира в 1985 и 2016 гг. [10, 11]

Таблица 2

Number and net-capacity of operated reactors in certain countries in 1985 and 2016 [10, 11]

[Table 2

Страна [Country]	1985 г. [In 1985]		2016 г. (на 1-е июля) [In 2016 (as of July, 1)]	
	Число реакторов [Number of reactors]	Установленная мощность, МВт [Net-capacity, MWe]	Число реакторов [Number of reactors]	Установленная мощность, МВт [Net-capacity, MWe]
Россия [Russia]	28	15 841	35	26 053
США [USA]	90	74 401	100	100 013
Германия [Germany]	24	18 110	8	10 728
Франция [France]	43	37 478	58	63 130
Великобритания [Great Britain]	38	10 077	15	8 883
Япония [Japan]	33	23 612	43	40 480
Южная Корея [South Korea]	5	3 692	25	23 017
Китай [China]	0	0	33	29 577
Индия [India]	6	1 143	21	5 302
Весь мир [World]	363	245 779	444	387 757

о ядерной безопасности и Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. В отдельных государствах эти последствия проявлялись с разной глубиной, вплоть до полного отказа от атомной энергии, но они были повсеместными. В энергетическом секторе в целом произошла глубокая трансформация структуры производства и потребления энергии, включая энергосбережение и рост использования альтернативных источников (табл. 3), что можно отнести к последствиям глобальных изменений, причинами которых стали и авария на ЧАЭС, и общий разворот на устойчивое развитие.

В случае аварий в энергетике вопрос о том, какие факторы определяют время после аварии, в течение которого установка не работает, многократно сложнее и не ограничивается административными соображениями. Дальнейшие события определяются политическими, экономическими и социальными факторами, при этом политическая компонента может оказаться решающей при принятии тех или иных решений. Решение как можно быстрее запустить энергоблоки ЧАЭС в эксплуатацию было политическим, и для его реализации не жалели ни материальных, ни человеческих ресурсов. Именно этим определяется численность когорты российских ликвидаторов

почти в 200 тыс. человек. Политические соображения превалировали и при принятии в 1991 г. чернобыльского законодательства, и они же привели к его консервации на два с половиной десятилетия.

Названные отличия аварий в энергетике видны и на примере аварии на АЭС «Фукусима-1». К ее непосредственному влиянию на энергетический сектор можно отнести проведение стресс-тестов на АЭС во всем мире, а также такие политические решения, как планы досрочного закрытия энергоблоков в Германии и остановка энергоблоков в самой Японии, которая продолжается до настоящего времени (в 2010 г. на 54 атомных реакторах этой страны вырабатывалось 30% электроэнергии; в 2015 г. 43 реактора, числящиеся в эксплуатации, фактически простаивали, а на долю атомной генерации приходилось всего 0,5%).

Аварии на ЧАЭС и на АЭС «Фукусима-1» демонстрируют сходство в отношении роли политической составляющей при принятии решений в поставочный период и вызванных ими социально-экономических последствий. В работе [14] сделан вывод, что «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 населе-

Таблица 3

Производство электроэнергии по источникам и ВВП на душу населения (в пост. ценах 2005 г.)
в отдельных странах [12, 13]

[Table 3]

Electricity production by the sources and per capita GDP (constant 2005\$) in certain countries [12, 13]

Страна [Country]	1986		2014		ВВП на душу на- селения, долл. США 2005 [per capita GDP (constant 2005\$)]
	ТВт [TW]	%	ТВт [TW]	%	
Германия [Germany]	523	100	573	100	39851,5
в т.ч. возобновл. [incl. renewable energy]	0	0	98	17	
Атомная [atomic]	130	25	92	16	
Франция [France]	342	100	536	100	35660,9
в т.ч. возобновл. [incl. renewable energy]	1	<1	34	6	
Атомная [atomic]	240	70	416	77	
Великобритания [Great Britain]	280	100	311	100	41458,3
в т.ч. возобновл. [incl. renewable energy]	0	0	36	12	
Атомная [atomic]	52	19	58	19	
Швеция [Sweden]	136	100	153	100	46035,6
в т.ч. возобновл. [incl. renewable energy]	0	0	13	8	
Атомная [atomic]	67	49	62	41	

нием, но и самими представителями власти. Эти решения привели к серьезным социальным и экономическим проблемам и многократно увеличили масштаб социально-экономических последствий аварии».

Хотя аварии в какой-либо отрасли часто являлись толчком для принятия тех или иных регулирующих мер, именно масштаб общественной реакции на определенное событие становится, как правило, тем «пусковым механизмом», который заставляет двигаться в сторону ужесточения критериев, принятия политических решений и т.п. Поскольку в случае крупных радиационных аварий потенциально затрагиваются самые разнообразные сферы жизнедеятельности человека, это обуславливает ответную волну реагирования со стороны общества и его институтов, включая вовлечение политических механизмов урегулирования. Если последние нацелены на использование научно обоснованных и практически реализуемых критериев, это создает предпосылки для минимизации социально-экономических последствий. В других случаях политические решения, такие как остановка энергоблоков, свертывание атомной энергетики и пр., являются экономической ценой, которую общество в целом и отдельная отрасль платит за снижение градуса негативной общественной реакции.

3. Развитие процессов в области ядерной и радиационной безопасности

Авария на ЧАЭС оказала решающее влияние на государственную политику СССР и России в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности. По мнению авторов, можно выделить несколько периодов и аспектов такого влияния (табл. 4).

Во-первых, это период острой реакции в 1986 г. В течение нескольких месяцев 1986 г. была осуществлена масштабная инспекция всех ядерных установок, находившихся в эксплуатации или сооружаемых в СССР. В отношении ряда из них были приняты решения о прекращении эксплуатации или сооружения.

Во-вторых, это усилия по повышению безопасности реакторов типа РБМК-1000. Они носили комплексный характер, включая как техническую модернизацию, так и меры по повышению безопасности эксплуатации, и последовали непосредственно за выяснением причин аварии.

В-третьих, это государственное стимулирование мер по развитию систем радиационного контроля и аварийного реагирования. Несмотря на очевидность этих мер, их реализация началась с существенными задержками и только в российский период. Первые современные уче-

Влияние аварии на ЧАЭС на процессы в области ядерной и радиационной безопасности в России

[Table 4]

Impact of the Chernobyl NPP accident on the nuclear and radiation safety in Russia]

Показатель [Index]	Непосредственные последствия [Direct consequences]	Развитие процессов [Development of processes]	Современное состояние [The current status]
Ревизия ядерных установок [Revision of nuclear installations]	1986 г. – немедленная инспекция всех ядерных установок [In 1986, immediate inspection of all installations]	1994 г. – завершение международной экспертизы энергоблока №1 Курской АЭС [In 1994, accomplishment of international expert review of Kurskaya NPP unit №1]	2011–2012 гг. – стресс-тесты, проверки в связи с продлением срока эксплуатации реакторов РБМК-1000 до 45 лет, конструктивные изменения, включая ловушки для топлива [2011–2012s stress tests, audit in relation to prolongation of operating period reactors RBMK until 45 years, engineering changes, including core catchers]
Развитие систем управления [Development of operating systems]	1986 г. – понятие «культура безопасности» [In 1986 – the «safety culture» concept]	2000-е гг. – системы управления качеством, системы экологического менеджмента [2000s – Quality Management System, Environmental Management System]	Интегрированные системы управления, приоритет безопасности над всеми основными потребностями [Integrated security system, precedence of safety over primary needs]
Аварийное реагирование [Emergency response]	1993 г. – первые комплексные учения [In 1993 – first complex trainings]	Создание системы кризисных центров и аварийно-технических центров, в том числе 1995 г. – КЦ Концерна Росэнергоатом, 1996 г. – ТКЦ ИБРАЭ РАН, 1999 г. – СКЦ Росатома и др. [The System of Crisis Centers and Emergency Technical Centers were established, incl. in 1995 – CC of Rosenergoatom, in 1996 – ECC of IBRAE, in 1999 – CC of Rosatom and others]	С середины 2000-х гг. – создание территориальных систем, в том числе в 2008–2015 гг. в рамках ФЦП ЯРБ – создание новых и развитие действующих систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования в 25 субъектах РФ [After the mid 2000s establishing of area systems, including in 2008-2015 establishing under the FTP NRS of new and development of existing radiation monitoring systems in 25 subjects of RF]
Ядерное наследие [Nuclear legacy]	Начало 1990-х гг. – первые оценки проблемы [The early 1990s – first evaluations of problem]	1998 г. – начало работ по утилизации АПЛ [In 1998 – works on disposal of atomic submarine were started]	2008–2015 г. – ФЦП ЯРБ, по ее итогам инвентаризация и оценка уровня опасности всех объектов наследия (более 2,2 тыс.). Наиболее критические для ядерной и радиационной безопасности проблемы решены, повышена безопасность более 400 объектов. [In 2008–2015 – according to the results of the FTP NRS inventory and evaluation of hazard level for all nuclear legacy objects. The most critical for nuclear and radiation safety issues was decided, safety of more than 400 objects was increased]

ния и тренировки начали проводиться только в начале 1990-х гг. С середины 1990-х гг. идет формирование системы кризисных и аварийно-технических центров, а с середины 2000-х гг. – комплексные работы по созданию территориальных систем. В отношении последних наибольший объем работ был выполнен в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.» (ФЦП ЯРБ).

В-четвертых, это работы по ядерному наследию. Они стартовали на рубеже веков в наиболее критичном секторе – комплексной утилизации атомных подводных лодок и реабилитации береговых технических баз. Эта сфера стала первой, где накоплен опыт стратегического планирования обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Набранные темпы утилизации обеспечили практически полную ликвидацию этой компоненты ядерного наследия. В рамках ФЦП ЯРБ подобный по подходам и большой по

объемам темп работ был набран в атомной промышленности: выведено из эксплуатации 53 объекта (и еще по 190 объектам реализованы этапы вывода из эксплуатации), практически обеспечена долгосрочная безопасность большей части накопленных радиоактивных отходов, завершено строительство комплекса сухого хранения отработавшего топлива реакторов РБМК-1000 и ВВЭР-1000. По итогам ФЦП ЯРБ наиболее критические проблемы наследия решены, осуществлена инвентаризация и оценка уровня опасности всех объектов наследия (более 2,2 тыс.). Принята программа работ на период до 2030 г.

Принципиальные и масштабные изменения подходов к обеспечению ядерной и радиационной безопасности, которые произошли за прошедший после аварии на ЧАЭС период, являются главным фактором преодоления неверия в возможность нового старта атомной энергетики. Многоплановые и негативные последствия аварии для

человека и общества в определенной степени компенсируются новым уровнем безопасной эксплуатации, аварийной готовности и безопасности полного жизненного цикла, в том числе в рамках новых ядерных технологий.

4. Нормативно-правовое обеспечение в области ядерной и радиационной безопасности

Развитие ядерного законодательства и начало практических работ по наследию показали принципиальную важность гармонизации и приведения во взаимное соответствие нормативных документов, затрагивающих различные аспекты ядерной и радиационной безопасности. Покажем это на нескольких примерах.

Принятие федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 11.07.2011 г. № 190-ФЗ и формирование Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами (ЕГС РАО) потребовали дальнейшего развития подходов к радиационно-гигиеническому нормированию. Разработка и установление комплексных радиологических, радиэкологических и экономических критериев были осуществлены на уровне Правительства Российской Федерации и реализованы в постановлении Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».

Вопрос о критериях стал основополагающим для всей системы ЕГС РАО. По сути, речь идет о масштабах национальной программы по обращению с РАО и затратах на ее реализацию. Еще в ходе подготовки и согласования документа выявлены значительные разногласия, по ряду позиций они носили принципиальный характер. Это были, прежде всего, вопросы о границах отнесения жидких и газообразных отходов с техногенными радионуклидами и жидких и газообразных отходов с природными радионуклидами к РАО. Чем ниже установлена граница отнесения жидких отходов с техногенными радионуклидами, тем больше отходов будут классифицированы как жидкие РАО. Однако это могло привести к вовлечению в сферу регулирования новых объемов отходов, новых субъектов хозяйственной деятельности и новых отраслей, поскольку под его действие попадут хвостохранилища, причем объемы таких отходов не поддаются оценке. Здесь уместна параллель с чернобыльским законодательством, которое привело к искусственному умножению проблемы за счет использования выбранных критериев зонирования. Очевидно, что при установлении критериев классификации РАО следует исходить из общей логики концентрации усилий и средств на наиболее значимых вопросах обращения с РАО в системе ЕГС РАО без рукотворного раздувания системы до необъятных размеров.

Углубленные формулировки критериев в итоговом постановлении также создали ряд неясностей в их трактовке с позиций современной системы радиационной защиты, что потребовало разработки специального методологического подхода в части отнесения к особым РАО [15]. Критерии отнесения РАО к особым РАО представляли собой дополнительные регулирующие требования к действующим фе-

деральным и санитарным нормам и правилам в области обеспечения радиационной безопасности. Специфика этих дополнительных требований состоит в том, что они относятся не к референтным индивидам – лицам из критической группы населения и персоналу ядерного объекта, а к популяции настоящего и будущих поколений.

Другим примером является развитие нормативных подходов в области реабилитации радиационно загрязненных территорий. В настоящее время этот вопрос не урегулирован нормативными документами, термин «реабилитация» не определен законодательно. Как следствие, имеет место как чрезмерно широкое понимание работ по реабилитации (как любых работ, направленных на приведение участка (объекта) в безопасное состояние), так и чрезвычайно зауженное (как работ по удалению загрязненного грунта и конструкций).

Проблемой является и отсутствие четко выработанных критериев применительно к необходимости проведения реабилитации, а также критериев завершения работ, что создает практические трудности при ранжировании радиационно загрязненных территорий, планировании и проведении практических мероприятий. Реабилитация всегда адресована ситуации существующего облучения, в которой, согласно Международным основным стандартам безопасности [16], принятие решений лежит в диапазоне доз облучения 1–20 мЗв/год. Международная комиссия по радиологической защите в Публикации 103 МКРЗ [17] рекомендует, чтобы в ситуациях существующего облучения референтные уровни, установленные по индивидуальной дозе, использовались в сочетании с внедрением процесса оптимизации.

Если ориентироваться на практическое решение проблем наследия, то формулирование проблемы – это первый этап, который должен быть пройден для принятия решений о реабилитации. Собственно, здесь нужно ответить на два принципиальных вопроса: о каком участке идет речь (пятно загрязнения в городе, промплощадка и др.) и в чем состоит проблема (радиологическая опасность, несоответствие нормативам, необходимость согласования проекта вывода из эксплуатации и т. п.). Только ответив на них, можно обосновывать необходимость проведения реабилитации, ее цели и методы. Вряд ли можно сформулировать единые требования по реабилитации даже для исторического загрязнения, подпадающего под определение ядерного наследия: в одном случае это оказавшийся в городской черте участок, куда складировались отходы, в другом – территория крупного действующего ядерного объекта площадью в несколько квадратных километров.

При законодательном урегулировании вопросов реабилитации целесообразно четко установить, что могут иметь место два вида реабилитации – при плановом выводе установки из эксплуатации и при ликвидации последствий аварий и прошлой деятельности. Вернее, в первом случае речь не идет о реабилитации в терминологии МАГАТЭ: предполагается, что при выводе установки из эксплуатации [18] не требуется реабилитация, так как установка безопасно эксплуатировалась в соответствии с современными стандартами безопасности. Дезактивация, если таковая необходима, и приведение площадки в заданное конечное состояние в этом случае являются рутинной частью деятельности по выводу из

эксплуатации, и все работы рассматриваются в контексте ситуации планируемого облучения [18]. Вопросы реабилитации после аварий и исторических практик адресованы ситуации существующего облучения и рассматриваются в других документах МАГАТЭ [16].

До тех пор, пока термин «реабилитация» не будет закреплён аналогичным образом в российском законодательстве, требуется различать (и, возможно, разводить по разным документам) требования в отношении вывода из эксплуатации после нормальной эксплуатации (например, блока АЭС) и требования по площадкам, загрязненным в результате аварий и прошлой деятельности (ядерное наследие). Если при плановом выводе из эксплуатации требуется привести площадку в заранее установленное конечное состояние, то на исторических и аварийных площадках реабилитация проводится, в первую очередь, в целях радиационной защиты или, при отсутствии опасности, по желанию собственника и за счет его средств. В последнем случае также требуется установить и зафиксировать конечное состояние, однако диапазон таких состояний может быть гораздо шире, в особенности с учетом того факта, что на значительном числе площадок в России одновременно размещены и объекты наследия, и новые установки.

С точки зрения целей реабилитации и критериев завершения работ, целесообразно предусмотреть, что в процессе реабилитации могут достигаться и фиксироваться промежуточные состояния. При выборе способа реабилитации в том случае, если она осуществляется за счет бюджетных средств, должно быть сравнение альтернатив (включая вариант автореабилитации или не предпринимать действий) в целях выбора оптимизированного варианта. Учет фактора времени при проведении реабилитации, а именно процессов распада, позволяет утверждать, что площадь подлежащих реабилитации участков может быть многократно сокращена. Например, на участке, загрязненном радионуклидами с периодом полураспада в 30 лет, активность снизится в 10 раз за 100 лет только за счет распада. Следует отметить, что реабилитация предполагает широкий спектр возможных действий в отношении загрязненного участка, при этом различие в стоимости различных вариантов реабилитации может отличаться на порядки. Таким образом, вопрос о том, в какой мере реабилитация радиационно-загрязненных территорий должна получать отражение в системе радиационно-гигиенического нормирования и иных сферах нормативно-правового регулирования, требует тщательного и вдумчивого изучения с учетом опыта прошлых аварий и исторических практик.

Заключение

Глобальный характер последствий аварии на ЧАЭС обусловлен как масштабным выходом радиоактивности в окружающую среду, так и тем, что она произошла в энергетике – высококонкурентном, экономически и политически значимом секторе мирового хозяйства и экономик отдельных стран. Атомная энергетика испытала беспрецедентное давление и смогла выстоять благодаря принципиальному изменению подходов и ужесточению законодательства в отношении обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Вместе с тем, за прошедшее время набрали силу другие процессы в энергетике – энергосбережение, рост использования альтернативных источников. На

эти процессы косвенно влияют те последствия аварии на ЧАЭС, которые вызвали в обществе и у отдельных людей страх и неприятие атомной энергетики и повышенный запрос на безопасность и охрану окружающей среды.

Тридцать лет являются достаточно длинным отрезком для оценки последствий аварии на ЧАЭС, подтверждающим как ограниченность собственно радиологических последствий аварии, так и масштабность иных последствий, прежде всего для общества и его восприятия всей совокупности радиационно-гигиенических вопросов, возникающих в связи с ядерными авариями и использованием атомной энергии в целом.

Литература

1. Международный Чернобыльский проект. Оценка радиологических последствий и защитных мер. Доклад Международного консультативного комитета. – М.: ИздАТ, 1991. – 96 с.
2. SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II. Scientific Annexes C, D and E. New York, United Nations, 2011, 313 p.
3. The Chernobyl Forum. Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. IAEA Division of Public Information: Vienna, September 2005, 51 p.
4. Ильин Л.А. Радиационная защита населения при реагировании на чернобыльскую аварию / Л.А. Ильин [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – Т. 61, № 3. – С. 5–16.
5. Абалкина, И.Л. Методика оценки эффективности и выбора реабилитационных мероприятий по ликвидации последствий природных и техногенных катастроф / И.Л. Абалкина [и др.] // Труды ИБРАЭ РАН. Выпуск. 11: Вопросы радиозащиты. – М.: Наука, 2009. – С. 11–68.
6. Романович, И.К. Актуальные задачи радиационной гигиены в свете итогов ФЦП ЯРБ / И.К. Романович // Материалы Юбилейной X российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях». – М., 2015. – С. 97–110.
7. Термины и определения по ядерной и радиационной безопасности. Глоссарий: 2-е издание, доп. и перераб. – М.: НТЦ ЯРБ, 2004. – 445 с.
8. LA-13638-TR. Обзор ядерных аварий с возникновением СЦР. Редакционная версия 2003 г. – Лос-Аламосская национальная лаборатория, Лос-Аламос, Нью-Мексико, США.
9. Серия изданий по безопасности, № 75-INSAG-1. Итоговый доклад о совещании по рассмотрению причин и последствий аварии в Чернобыле. Доклад Международной Консультативной группы по ядерной безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 1988.
10. Nuclear Reactors in the World. 2015 Edition. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2015. 79 p.
11. Официальный сайт Всемирной ядерной ассоциации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx> (дата обращения: 08.07.2016 г.)
12. Портал данных TSP. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart> (дата обращения: 21.04.2016 г.)
13. Сайт информационных данных Khoema. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://khoema.ru> (дата обращения: 21.04.2016 г.)

14. Арутюнян, Р.В. Уроки Чернобыля и Фукусимы и актуальные проблемы совершенствования системы защиты населения и территорий при авариях на АЭС / Р.В. Арутюнян [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – Т. 61, № 3. – С. 36–51.
15. Линге, И.И. Обращение с особыми радиоактивными отходами: прогресс практической деятельности и актуальные задачи / И.И. Линге, М.Н. Савкин, М.В. Ведерникова // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 5–22.
16. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. № GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2014. 471 p.
17. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. – М.: 2009. – 343 с.
18. IAEA SAFETY STANDARDS SERIES № GSR Part 3. Decommissioning of Facilities. General Safety Requirements. Vienna: IAEA, 2014. 23 p.

Поступила: 21.06.2016

Большов Леонид Александрович – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, директор Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия

Арутюнян Рафаэль Варназович – доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук по научной работе и координации перспективных разработок, Москва, Россия

Линге Игорь Иннокентьевич – доктор технических наук, заместитель директора Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук по информационно-аналитической поддержке комплексных проблем ядерной и радиационной безопасности, Москва, Россия

Абалкина Ирина Леонидовна – кандидат экономических наук, заведующая лабораторией Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук. **Адрес для переписки:** 115191, Россия, Москва, ул. Большая Тульская, д. 52. E-mail: abalkina@ibrae.ac.ru

Для цитирования:

- **Большов Л.А., Арутюнян Р.В., Линге И.И., Абалкина И.Л. Ядерные аварии: последствия для человека, общества и энергетики // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 3. – С. 43–52. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-43-52**

Nuclear Accidents: Consequences for Human, Society and Energy Sector

L.A. Bolshov, R.V. Arutyunyan, I.I. Linge, I.L. Abalkina

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

Abstract

The article examines radiation and hygienic regulations with regard to the elimination of consequences of the Chernobyl NPP accident in the context of relationships with other aspects, primarily socio-economic and political factors. This experience is reasonable to take into account when defining criteria in other regulatory fields, for example, in radioactive waste classification and remediation of areas. The article presents an analysis of joint features and peculiarities of nuclear accidents in the industry and energy sectors. It is noted that the scale of global consequences of the Chernobyl NPP accident is defined by the large-scale release of radioactivity into the environment, as well as an affiliation of the nuclear installation with the energy sector. Large-scale radiation accidents affect the most diverse spheres of human activities, what, in its turn, evokes the reverse reaction from the society and its institutions, including involvement of political means of settlement. If the latter is seeing for criteria that

Abalkina Irina L.

The Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences.

Address for correspondence: Bolshaya Tulsкая St., 52, Moscow, 115191, Russia; E-mail: abalkina@ibrae.ac.ru

are scientifically justified and feasible, then the preconditions for minimizing socio-economic impacts are created. In other cases, political decisions, such as nuclear units' shutdown and phasing out of nuclear energy, appear to be an economic price which society, as a whole and a single industry sector, pay to compensate the negative public response. The article describes fundamental changes in approaches to ensure nuclear and radiation safety that occurred after the Chernobyl NPP accident. Multiple and negative consequences of the Chernobyl accident for human and society are balanced to some extent by a higher level of operational safety, emergency preparedness, and life-cycle safety. The article indicates that harmonization and ensuring consistency of regulations that involve different aspects of nuclear and radiation safety are important to implement practical solutions to the nuclear legacy problems. The development of regulations on criteria for the classification of radioactive waste and the issues of remediation of radioactively contaminated areas are discussed as the examples.

Key words: nuclear accident, consequences of the Chernobyl NPP accident, nuclear and radiation safety, remediation.

References

1. The International Chernobyl Project. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures. Report by an International Advisory Committee. Moscow, Izdat, 1991. 96 p. (in Russ.)
2. SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II. Scientific Annexes C, D and E. New York: United Nations, 2011, 313 p.
3. The Chernobyl Forum. Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. IAEA Division of Public Information: Vienna, September 2005, 51 p.
4. Ilyin L.A., Kenigsberg Ya.E., Linge I.I., Lihtarev I.A., Savkin M.N. Radiation Protection of the Population in Response to the Chernobyl Accident. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost – Medical Radiology and Radiation Safety*, 2016, 61 (3), pp. 5-16. (in Russ.)
5. Abalkina I.L., Blinov B.K., Linge I.I., Simonov A.V. Methodology for effectiveness assessment and selection of rehabilitation actions in elimination of consequences of natural and man-made catastrophes. In: Proceedings of IBRAE RAS. Issue 11. Moscow, Nauka, 2007, pp. 11-68. (in Russ.)
6. Romanovich I.K. Actual Tasks in Radiation Hygiene in the Context of FTP NRS Results. Proceeding of the Jubilee X Russian Scientific Conference «Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies». Moscow, 2015, pp. 97-110. (in Russ.)
7. Terms and Definitions in Nuclear and radiation Safety. Glossary: 2nd edition, revised and expanded. Moscow, SEC NRS, 2004, 445 p. (in Russ.)
8. LA-13638-TR. Report on Nuclear Accidents with SCR. 2003 version. Los Alamos (New Mexico, USA), Los Alamos National laboratory. (in Russ.)
9. IAEA SAFETY SERIES NO.75-INSAG-1 Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident Report by the International Nuclear Safety Advisory Group. Vienna, IAEA, 2008 (in Russ.)
10. Nuclear Reactors in the World. 2015 Edition. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2015, 79 p.
11. Nuclear Energy Agency Website: <http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx> (date of website visit: 08.07.2016)
12. TSP data portal: <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart> (date of website visit: 21.04.2016)
13. Khoema data platform: <http://knoema.ru> (date of website visit: 21.04.2016)
14. Arutyunyan R.V., Bolshov L.A., Linge I.I., Melikhova E.M., Panchenko S.V. Lessons of Chernobyl and Fukushima and Actual Problems of Development of the System of Radiation Protection of the Population and Territories in the Case of a Nuclear Power Plant Accident. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost – Medical Radiology and Radiation Safety*. 2016; 61 (3): 36-51 p. (in Russ.)
15. Linge I.I., Savkin M.N., Vedernikova M.V. Management of special radioactive wastes: practical advances and current challenges. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation Hygiene*, 2014, Vol. 7, No 4, pp. 5-22. (in Russ.)
16. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. № GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2014, 471 p.
17. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Moscow, 2009, 343 p. (in Russ.)
18. IAEA SAFETY STANDARDS SERIES № GSR Part 3. Decommissioning of Facilities. General Safety Requirements. Vienna, IAEA, 2014, 23 p.

Received: June 21, 2016

Bolshov Leonid A.I. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, the Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Arutyunyan Rafael V. – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Deputy Director, The Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Linge Igor In. – Doctor of Engineering Sciences, Deputy Director, the Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abalkina Irina L. – Candidate of Economic Sciences, Laboratory chief, The Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia (Bolshaya Tulsкая St., 52, Moscow, 115191, Russia; e-mail: abalkina@ibrae.ac.ru)

For correspondence

For citation:

- **Bolshov L.A., Arutyunyan R.V., Linge I.I., Abalkina I.L. Nuclear Accidents: Consequences for Human, Society and Energy Sector. *Radiatsionnaya gigiena – Radiation Hygiene*, 2016, Vol.9, No 3, pp. 43–52. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-43-52**