

# Защита населения при крупномасштабной радиационной аварии: ослабление негативных социальных последствий защитных мероприятий. Часть 1. Интерпретация дозовых характеристик аварийной ситуации

Ю.О. Константинов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

*Защитные мероприятия, осуществлявшиеся с целью снижения уровней облучения населения вследствие аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», вызвали негативные последствия социально-психологического и социально-экономического характера и медицинские нерадиологические последствия. Соответствующий ущерб, нанесенный населению затронутых территорий и всему обществу, значительно превысил гипотетическую пользу от предотвращения облучения. В настоящей работе рассматриваются некоторые возможные пути априорного обеспечения смягчения социального ущерба, сопутствующего осуществлению противорадиационных защитных мероприятий при крупномасштабной радиационной аварии. Для характеристики общего объема ущерба, вызываемого защитными мероприятиями, принят масштаб радиационной и социальной защиты в единицах численности населения официально вовлеченных территорий. Анализ решений по защите населения Российской Федерации от последствий Чернобыльской аварии показывает, что при конкретной радиационной обстановке масштабы защитных мероприятий различаются более чем на порядок величины в зависимости от критериев принятия решений и их административного воплощения. Другим фактором, от которого зависит масштабирование аварии, является степень консервативности в оценке радиационной обстановки. Анализ результатов индивидуального дозиметрического обследования жителей западных районов Брянской области показал устойчивые значения статистических характеристик распределения обусловленных Чернобыльской аварией индивидуальных доз внешнего и внутреннего облучения, согласно которым значение 95% квантиля распределения в 2–3 раза превышает среднее значение у рассматриваемого контингента населения. Таким образом, применение концепции «репрезентативного лица» приводит к завышению прогнозируемых доз облучения относительно тех, которым соответствуют стохастические эффекты облучения. Следствием такого завышения являются расширение масштабов защитных мероприятий, протрагирование аварийной ситуации, увеличение сопутствующего социального ущерба. В качестве одного из путей обеспечения априорного снижения социального ущерба, сопутствующего защитным мероприятиям, предлагается следующее положение. На стадии аварийной ситуации, когда уже достаточно информации, чтобы считать, что максимальное облучение человека не будет достигать порогов детерминированных эффектов, решения о защитных мероприятиях, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения и социально-хозяйственное функционирование территории, оправдано принимать на основе доз на среднего человека из населения, а не на наиболее облучаемых людей.*

**Ключевые слова:** радиационная авария, защитные мероприятия, аварийная ситуация, Чернобыльская авария, авария на АЭС «Фукусима-1», население, критическая группа.

## Введение

Защитные мероприятия (ЗМ), осуществлявшиеся с целью снижения уровней облучения населения вследствие аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», вызвали негативные последствия социально-психологического и социально-экономического

характера и медицинские нерадиологические последствия. Соответствующий ущерб, нанесенный населению территорий, вовлеченных в ЗМ, и всему обществу, значительно превысил гипотетическую пользу от предотвращения облучения. В Российском национальном докладе по итогам изучения последствий Чернобыльской аварии сделан вывод, что «по сравнению с чернобыльской ради-

Константинов Юрий Олегович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: yu-kon@rambler.ru

ацией, другие факторы, такие как хронический психологический стресс, нарушение привычного уклада жизни, ограничения в хозяйственной деятельности и связанные с аварией материальные потери, нанесли людям гораздо больший вред» [1].

Международное агентство по атомной энергии интенсивно разрабатывает вопросы обеспечения готовности к реагированию на радиологические аварийные ситуации, в том числе разработаны новые обоснования для дозовых критериев принятия решений (в формулировке прогнозируемых и полученных доз) не только для профилактических защитных мероприятий, но также для немедленного и долгосрочного медицинского обследования, психологической помощи и для прекращения проведения мер радиационной защиты [2]. В то же время ни в рекомендациях МКРЗ [3,4], ни в требованиях МАГАТЭ [5, 6] не содержится адекватных определенности радиологических критериев оснований для принятия решений с учетом долговременных негативных социальных последствий защитных мероприятий.

В требованиях безопасности МАГАТЭ GSR Part 7 указано, что должно быть обеспечено «наличие механизма для смягчения нерадиологических последствий ядерной или радиологической аварийной ситуации и аварийного реагирования» [6]. В качестве такого механизма предполагается оказание медицинской и психологической помощи населению, т.е. смягчение ущерба, уже нанесенного защитными мерами, а не предотвращение самого ущерба.

В настоящем сообщении рассматриваются некоторые возможные пути обеспечения априорного смягчения социального ущерба, вызываемого осуществлением противорадиационных защитных мероприятий при крупномасштабной радиационной аварии: ограничение масштабирования ЗМ и негативного влияния на общественное восприятие радиационного риска. В первой части рассматривается ограничение консервативности при интерпретации дозовых характеристик аварийной ситуации.

**Цель исследования** – анализ масштабирования социальных последствий крупной радиационной аварии и оптимизация методологии оценки и прогноза уровней облучения населения с целью обеспечения априорного смягчения негативных социальных последствий противорадиационных мер защиты населения.

### **Социальные последствия защитных мероприятий**

Основными эффективными мерами по снижению прогнозируемых доз облучения населения после Чернобыльской и Фукусимской аварий были эвакуация, отселение жителей загрязненных территорий и ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов. Здесь приведем наиболее убедительные примеры негативных социальных последствий осуществления соответствующих защитных мероприятий.

#### *Эвакуация*

После возникновения 11 марта 2011 г. аварии на японской АЭС «Фукусима-1» первоначально были эвакуированы жители 20-километровой зоны. Впоследствии были переселены также жители территорий за пределами

20-километровой зоны, где доза за первый год могла превысить 20 мЗв – нижний предел рекомендованного МКРЗ в 2007 г. [3] диапазона референтных уровней (уровней вмешательства) в ситуации аварийного облучения 20–100 мЗв/год. Общее количество эвакуированных в связи с аварией населения превысило 146 тыс. чел. [7]

В то время как никаких радиологических последствий для здоровья населения среди населения не было зафиксировано, уже по состоянию на апрель 2011 г. зафиксирована смерть 51 пациента пожилого возраста, эвакуированных из больниц и домов для престарелых, по причине плохо организованной эвакуации, физических и моральных страданий при транспортировке в эвакуационные центры и некомфортного проживания в эвакуационных центрах [8]. По результатам обследования 1215 больных или пожилых людей, проводившегося до 2013 г., было показано, что риск смерти у эвакуированных оказался в 3,37 раз выше, чем у неэвакуированных [9]. Среди причин смерти называют не оказание своевременной медицинской помощи в связи с закрытием лечебных учреждений в зоне эвакуации, высокий уровень дистресса (психологическая травма) ввиду резкого изменения условий жизни после переселения.

#### *Отселение*

Переселение жителей западных районов Брянской области потребовало очень больших затрат, неадекватных предотвращаемому радиологическому риску, и привело к долгосрочным негативным социальным последствиям. Сотрудники НИИРГ проводили исследование дозиметрических, экономических и социально-психологических аспектов переселения людей из 41 населенных пунктов Брянской области с плотностью загрязнения территории цезием-137  $S_{137} \geq 30$  Ки/км<sup>2</sup> (1,1 МБк/м<sup>2</sup>) в «чистые» районы области [10]. Анализ показал, что расходы на отселение в 1989–1993 гг. в Брянской области в 40 раз превысили пользу, выраженную денежным эквивалентом предотвращенного радиационного вреда, который, в свою очередь, определялся из расчета эквивалентности потери 1 чел.-года жизни (за счет предполагаемой частоты стохастических эффектов облучения) единице годового душевого национального дохода [11]. Не менее существенными, чем непосредственные материальные затраты, являются такие негативные последствия, как ухудшение демографической ситуации в сельской местности и отток квалифицированных кадров, приводившие к нарушению социально-экономического функционирования территории и неблагоприятным воздействиям на здоровье населения. Результаты медицинского и социально-психологического обследования перемещенных людей свидетельствовали, что средний уровень тревожности среди них выше, а показатели самочувствия ниже, чем у тех, кто продолжал жить в загрязненных населенных пунктах [11].

#### *Ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов*

К негативным последствиям, сопровождающим мероприятия по ограничению производства и потребления радиоактивно загрязненных пищевых продуктов, следует отнести как прямой ущерб здоровью населения из-за нарушения сбалансированности питания,

так и долговременные социально-экономические последствия нарушения сельскохозяйственного функционирования территорий. После аварии на ЧАЭС на всех сельхозугодьях с плотностью загрязнения почвы цезием-137 выше 40 Ки/км<sup>2</sup> было прекращено землепользование, а всего из землепользования в Российской Федерации было выведено 68,5 тыс. га. [12]. Уменьшение площадей сельскохозяйственных угодий, отказ рынков сбыта от приема сельхозпродукции с чернобыльских территорий привели к уменьшению, а местами и к ликвидации сельскохозяйственного и перерабатывающего производства на загрязненных территориях. Что касается нарушения сбалансированности питания местного населения, можно привести следующий пример. В сообщении А.Ф. Цыба и соавт. [13] в качестве свидетельства эффекта дефицита необходимых элементов в структуре рациона, в том числе железа, приводится рост встречаемости железодефицитной анемии у детей и подростков Брянской области.

### Масштабы аварийной ситуации в зависимости от решений по защите населения

В драматической истории принятия решений о защите населения Российской Федерации от последствий Чернобыльской аварии было два критических периода. Первый – летом 1986 г., когда по консервативному прогнозу радиационной обстановки намечалась эвакуация в августе – сентябре более 80 тысяч жителей населенных пунктов (НП) западных районов Брянской области. Тогда на основании реалистического подхода с использованием результатов проведенного в июле – августе 1986 г. обследования жителей на содержание радионуклидов цезия в организме и измерения радиоактивности молока местного производства [14] удалось убедить правительство РСФСР в прогнозируемом непревышении регламентированного на первый год после аварии временного допустимого уровня облучения 100 мЗв/год. Таким образом было предотвращено массовое переселение жителей Брянской области в 1986 г. В правительственный перечень подлежащих эвакуации в августе – сентябре НП были включены только 4 деревни Красногорского района, которые уже были эвакуированы 7 августа, всего 186 жителей [15].

Следующий критический период начался в 1988 г. с разумной попытки минимизировать негативные социальные последствия защитных мероприятий, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения загрязненных территорий, а закончился в 1991 г. принятием решений, причинивших наибольший социальный ущерб. В 1988 г.

Национальная комиссия по радиационной защите предложила и Минздрав СССР утвердил концепцию безопасного проживания на основе предела дозы за жизнь ПДЖ=350 мЗв<sup>1</sup>. Согласно этой концепции, предполагалось с 1990 г. ограничить объем защитных мероприятий путем снятия или смягчения ограничений в жизнедеятельности в населенных пунктах, где ПДЖ ≤ 350 мЗв, и отселения жителей, если не может быть обеспечено непревышение ПДЖ [16]. Расчеты дозы за жизнь (70 лет) при консервативных допущениях и снятии всех ограничений с 1990 г. показали, что превышение 350 мЗв в пределах России может быть в 104 населенных пунктах Брянской области с общим числом жителей 22 тыс. чел. [17]. На основании концепции ПДЖ и результатов расчетов в 1989–1990 гг. были приняты соответствующие правительственные постановления об отселении<sup>2</sup>.

Пожизненная доза рассчитывалась как сумма накопленной дозы в 1986–1989 гг. и прогнозируемой дозы за последующее годы жизни. При этом в расчет принимались самые консервативные допущения [18]. Доза рассчитывалась применительно к человеку 1986 г. рождения. В расчет накопленной дозы до 1 января 1990 г. принимались значения 90% квантиля распределения результатов измерения активности основных продуктов питания и уровней гамма-излучения на территории, что составило по отношению к средним значениям коэффициенты 1,7 и 1,4 по внутреннему и внешнему облучению. В прогнозе дозы за 1990–2056 гг. принималось отсутствие каких-либо мер защиты и консервативное значение скорости убывания годовой дозы. Совокупность консервативных допущений давала завышение пожизненной дозы более чем вдвое [19]. При более реалистическом приближении и если учитывать только ту дозу, которая еще может быть предотвращена, отселению подлежало бы всего 4,1 тыс. жителей.

Под давлением социально-политических факторов концепция ПДЖ была официально отвергнута, и дальнейшие решения принимались в направлении ужесточения требований к радиационной защите. В этих условиях последующие регулирующие документы являлись компромиссом между научно обоснованными принципами радиационной защиты и неадекватным общественным восприятием радиационного риска. В качестве такого компромисса с учетом социально-психологической обстановки в загрязненных районах была принята «Концепция проживания населения в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС», одобренная постановлением правительства СССР от 8 апреля 1991 г.<sup>3</sup>. Согласно концепции, облучение населения от

<sup>1</sup> Предел индивидуальной дозы за жизнь, установленный для населения контролируемых районов РСФСР, БССР и УССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Утверждено Главным Государственным санитарным врачом СССР 22 ноября 1988 г., № 129-6/715-6 [Individual lifetime dose limit established for the population of controllable territories in the RSFSR, BSSR and USSR subjected to radioactive contamination due to the Chernobyl NPP accident. Authorized by the USSR Chief State Health Officer on November, 22, 1988, № 129-6/715-6].

<sup>2</sup> Распоряжение Совета министров РСФСР от 05.10.1989 г. № 878-р (переселение по плану в период 1989–1993 г.) [The Order of the Council of Ministers of RSFSR from 05.10.1989 г. № 878-р (resettlement under the plan during 1989–1993)]. Распоряжение Совета министров РСФСР от 16.03.1990 г. № 293-р (переселение по плану в период 1990–1993 г.) [The Order of the Council of Ministers of RSFSR from 05.10.1989 г. № 878-з (resettlement under the plan during 1990–1993)].

<sup>3</sup> Постановление Кабинета министров СССР от 8 апреля 1991 г. № 164 о концепции проживания населения в районах, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС. [Resolution of the USSR Council of Ministers from April 8, 1991 № 164 on the concept of permanent living of people in the districts suffered from the Chernobyl NPP accident]

радиоактивных выпадений в результате аварии на ЧАЭС, дающее в 1991 г. и в последующий период среднегодовую эффективную дозу, не превышающую 1 мЗв, является допустимым и не требует каких-либо вмешательств (защитных мероприятий). При уровнях выше 1 мЗв необходимо проводить комплекс защитных мер по снижению дозовых нагрузок при одновременном ослаблении ограничений, нарушающих привычный образ жизни, с условием не превышения 5 мЗв/год.

Концепция формально положена в основу принятого в мае 1991 г. закона «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС»<sup>4</sup>. Однако непосредственно защитные мероприятия как по снижению уровней облучения (включая отселение), так и социального характера (включая льготы и компенсации) привязаны в законе к зонированию территории по плотности загрязнения почвы цезием-137. К зонам радиоактивного загрязнения отнесли все территории с плотностью загрязнения  $S_{137} \geq 1$  Ки/км<sup>2</sup> (37 кБк/м<sup>2</sup>). Это привело к многократному расширению территории, вовлекаемой в сферу выполнения защитных мероприятий. Численность вовлекаемого населения в целом по России сразу возросла до 1,5 млн чел., а к 1993 г., после разведки новых территорий с  $S_{137} > 1$  Ки/км<sup>2</sup> – 2,7 млн чел., проживавших в 17 областях Российской Федерации. Согласно принятому закону, тер-

ритории с  $S_{137} > 15$  Ки/км<sup>2</sup> (0,555 МБк/м<sup>2</sup>) отнесли к зоне отселения, в которой оказалось 202 НП с общим числом жителей 91 тыс. чел. [1], причем обязательное отселение предписывалось для НП с  $S_{137} > 40$  Ки/км<sup>2</sup> или при среднегодовой дозе свыше 5 мЗв. Программа отселения не была полностью выполнена. Тем не менее, переселенными оказались более 55 тыс. чел.

В таблице приводится сводка различных критериев принятия решений в порядке роста численности населения, затронутого защитными мероприятиями в Брянской области. Не вдаваясь в дифференциацию ущерба в зависимости от характера основных мер радиационной защиты (отселение, ограничение производства и/или потребления пищевых продуктов), относим к «затронутому населению» жителей всех населенных пунктов Брянской области, официально отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, т.к. в понятие ущерба включаем психологический стресс от зачисления в ранг пострадавших от радиации.

**Консерватизм и реализм в оценке уровней облучения на разных стадиях аварийной ситуации**

По формальному существу принципа оптимизации при оценке радиационной обстановки для принятия решений должны производиться реалистические, а не консервативные прогнозы уровней облучения населения.

Таблица

**Масштабы защитных мероприятий в Брянской области в зависимости от критериев принятия решений в 1988–1991 гг.**

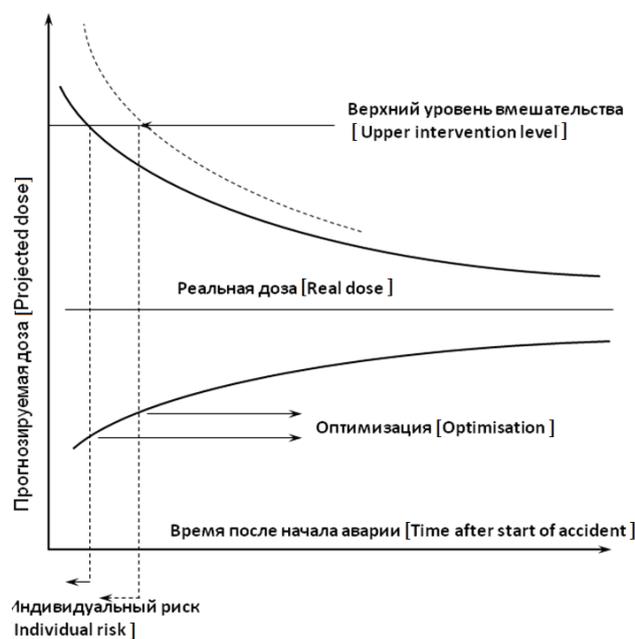
[Table

**Scope of countermeasures in Bryansk region depending on decision making criteria in 1988–1991]**

Критерии [Criteria]	Численно [Numerical]	Год принятия решений [Year of decision]	Затронутое население (тыс. чел.) [Involved population (thousands)]
Концептуально [Conceptual]			
Предотвращаемая доза за 70 лет жизни (1990–2060), реалистическое приближение [Avertable dose in 70 y lifespan (1991–2060), realistic approach]	350 мЗв [350 mSv]	–	4, 1
Обязательное отселение [Compulsory relocation]	1480 кБк/м <sup>2</sup> [1480 kBq/m <sup>2</sup> ]	1990	6, 4
Доза за жизнь (1986–2056), консервативный подход [Life-time dose (1986–2056), conservative approach]	350 мЗв [350 mSv]	1988	22
Годовая доза в 1991 г. [Annual dose in 1991]	5 мЗв [5 mSv]	1991	25
Плотность загрязнения <sup>137</sup> Cs [Contamination density <sup>137</sup> Cs]	555 кБк/м <sup>2</sup> [555 kBq/m <sup>2</sup> ]	1991	91
Годовая доза в 1991 г. [Annual dose in 1991]	1 мЗв [1 mSv]	1991	169
Плотность загрязнения <sup>137</sup> Cs [Contamination density <sup>137</sup> Cs]	185 кБк/м <sup>2</sup> [185 kBq/m <sup>2</sup> ]	1991	242
Плотность загрязнения <sup>137</sup> Cs [Contamination density <sup>137</sup> Cs]	37 кБк/м <sup>2</sup> [37 kBq/m <sup>2</sup> ]	1991	482

<sup>4</sup> Закон Российской Федерации «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» от 16.05.1991 г. № 1244-1. [Russian Federation Law «On social protection of citizens affected by radiation owing to catastrophe at the Chernobyl NPP». Adopted on May 15, 1991, № 1244-1.]

В то же время оценка реалистичности прогноза весьма проблематична, особенно в начальной фазе аварии, когда еще нет или очень мало дозиметрической информации о складывающейся обстановке. Тем более это относится к предупредительным решениям на основе технологических данных об аварийном состоянии ядерной установки. По мере поступления дозиметрической информации неопределенность прогноза сужается, но в некоторый начальный период она может быть настолько велика, что вполне оправдана высокая степень консерватизма в оценке прогнозируемой дозы во избежание серьезной недооценки опасности переоблучения населения. На рисунке 1 верхние и нижняя кривые ограничивают диапазон неопределенности в прогнозе реальной дозы в различное время после начала аварии. Если в начальный период времени верхняя граница этого диапазона оказывается выше уровня детерминированных эффектов, то решения о защитных мероприятиях в этот период следует принимать по принципу ограничения индивидуального риска в расчете на максимально облучаемого человека в рассматриваемой популяции. Только когда консервативное значение прогнозируемой дозы может быть скорректировано поступающей дозиметрической информацией до уровня ниже соответствующего детерминированным эффектам облучения, решения можно принимать на основе более реалистических условий, по принципу оптимизации.

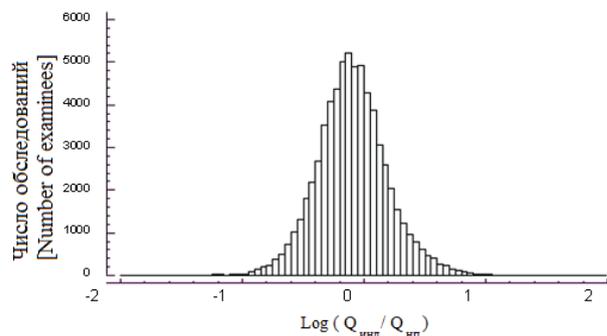


**Рис. 1.** Диапазон неопределенности в оценке радиационной обстановки  
**[Fig. 1.** Range of uncertainty in the assessment of radiation situation]

На рисунке 1 сплошные кривые относятся к дозе облучения в среднем для человека из населения, а штриховая – с учетом предполагаемого распределения индивидуальных доз. При оправданно консервативном подходе в начальный период аварии целесообразно ориентироваться на максимально облучаемого в данных условиях

человека. В последующий период, когда имеется достаточно информации, чтобы считать, что максимальное облучение человека не будет приближаться к уровню детерминированных эффектов, существенно учитывать распределение индивидуальных уровней радиационного воздействия.

Дозиметрические обследования последствий Чернобыльской аварии показали, что индивидуальные уровни облучения жителей территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению, широко варьируют в зависимости от ряда факторов, среди которых по внешнему облучению наибольшее значение имеют профессия или род занятий, а по внутреннему – рацион питания и радиоактивное загрязнение потребляемых пищевых продуктов. Особенно широко варьируют уровни внутреннего облучения. На рисунке 2 показано стандартизованное распределение уровней внутреннего облучения 66 135 жителей 77 населенных пунктов западных районов Брянской области в первый год после аварии на ЧАЭС, в каждом из которых в августе – сентябре 1986 г. обследовано на содержание радиоактивного цезия не менее 100 человек, в том числе не менее 50 взрослых [20]. За единицу взято среднее значение уровня внутреннего облучения взрослых жителей населенного пункта. Медиана, 90% и 95% квантили распределения и среднее облучение лиц с превышением 90% квантиля распределения составили 0,78, 1,82, 3,3 и 3,0 соответственно относительно среднего арифметического значения для взрослых жителей.



**Рис. 2.** Распределение индивидуальных значений уровней внутреннего облучения радионуклидами цезия ( $Q_{инд}$ ) относительно среднего значения у взрослых жителей населенного пункта ( $Q_{нп}$ )

**[Fig. 2.** Distribution of individual values of internal exposure from caesium radionuclides ( $Q_{инд}$ ) relative to the mean value for adult inhabitants of a settlement ( $Q_{нп}$ )]

Исследование распределений в отдельных НП показало, что их характер практически не зависит от статуса НП как в административном отношении (город, сельский НП или поселок городского типа), так и в плане его отнесения к той или иной зоне радиоактивного загрязнения, и соответственно, от интенсивности проведения защитных мероприятий, т.е. почти не зависит от времени введения, характера и строгости выполнения мер по исключению или ограничению потребления загрязненных пищевых продуктов [20]. Более того, характер распределения индивидуальных уровней облучения и стандартизованные

параметры распределения оказались устойчивыми по прошествии многих лет после аварии на ЧАЭС. Согласно публикации [21], как по данным СИЧ-измерений, проведенных в 1992–2003 гг., так и по результатам стохастического моделирования (с использованием параметров распределения численных значений коэффициентов перехода цезия-137 из почвы в основные дозообразующие продукты питания и объемов их потребления) стандартизованные значения параметров распределения индивидуальных доз внутреннего облучения оказались близкими к таковым для распределения, приведенного на рисунке 2, то есть в первый год после аварии. По внешнему облучению дисперсия индивидуальных доз меньше, и отношение средней дозы облучения лиц, у которых индивидуальные дозы превышают 90% квантиль распределения, к средней дозе у всех жителей НП составило 1,8 (по данным индивидуальной термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД) и стохастического моделирования для четырех НП [22]).

Рассмотрим теперь восстановительную стадию после аварии, когда пришлось выполнять защитные мероприятия, но нужно на основании реалистично оцененной радиационной обстановки определить радиологические основания к их прекращению. От того, оцениваем ли мы дозу на среднего индивидуума, т.е. в среднем для жителей населенного пункта, либо применяем более консервативный подход, зависит время прекращения защитных мероприятий. Более консервативным подходом может быть расчет дозы на 95% квантиль (как для «репрезентативного лица» в публикации 101 МКРЗ [23]) или средняя доза на определенном образом выбранную конкретную или виртуальную «критическую группу» населения (как в [22]), либо, наконец, доза на наиболее облучаемого индивидуума – пусть это будет абстрактный человек, для которого предполагаются условия наибольшего внешнего и внутреннего облучения.

Рассматриваемый вопрос иллюстрируется схематически на рисунке 3, где кривые означают снижение со временем уровней облучения. Исходя из представления о стохастических эффектах, следует руководствоваться уровнями облучения в среднем для жителей населенного пункта. Тогда допускается облучение части жителей в индивидуальной годовой дозе, превышающей установленный уровень прекращения защитных мероприятий. Согласно результатам дозиметрических обследований наиболее загрязненных районов Брянской области с применением ТЛД и СИЧ, для жителей, облучение которых превышает 90% квантиль распределения индивидуальных уровней внешнего и внутреннего облучения (один из вариантов определения «критической группы» [22]), годовая доза в 2–3 раза превышает среднее арифметическое значение таковой для всех жителей населенного пункта. Для отдельного человека («максимально облучаемый человек» на рисунке 3) это превышение может быть еще большим. Если принять, что при прекращении защитных мероприятий в соответствии с годовой дозой в среднем для жителей НП дальнейшее снижение аварийного облучения произойдет, например, как в нынешней постчернобыльской ситуации с периодом полуобывания, скажем, 30 лет, среднее облучение указанной критической группы еще 43 года будет превышать «уровень пре-

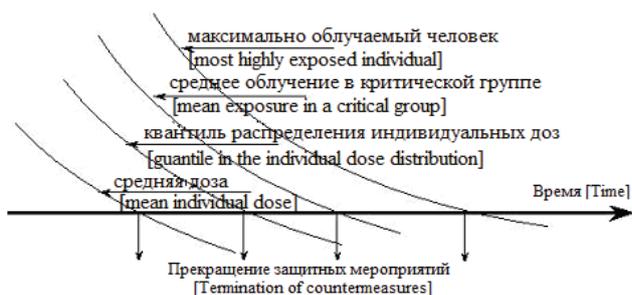


Рис. 3. Зависимость длительности защитных мероприятий от степени консервативности в оценке уровней облучения населения

[Fig. 3. Duration of protective actions vs. degree of conservativeness in the assessment of population exposure levels]

кращения защитных мероприятий». Согласно действующей (принятой в 1995 г.) концепции [24], этот уровень принят равным 1 мЗв/год, т.е. равен основному пределу эффективной дозы техногенного облучения населения в нормальных условиях. При этом в НРБ-99/2009 указывается, что пределы доз относятся к критической группе населения. Тогда даже пренебрегая квотированием предела дозы для облучения отдельными техногенными источниками ([25], п.5.2.2), следовало бы считать радиологически «нормальными» условиями, то есть прекращением аварийного облучения, 1 мЗв/год на критическую группу населения. Последнее означает продолжение пребывания населенного пункта в статусе находящегося в ситуации аварийного облучения еще на более чем 40 лет с протрагированием защитных мероприятий и соответствующих негативных социально-психологических и социально-экономических последствий. То есть мы сталкиваемся с дилеммой либо формального удовлетворения действующим регулирующим документам, либо радиологически и социально оправданного завершения аварийной ситуации, когда вред дальнейших защитных мероприятий очевидно превышает пользу от снижения риска постулируемых в общей концепции радиационной защиты отдаленных стохастических последствий облучения.

### Обсуждение

После Чернобыльской аварии решения о защите населения принимались по разного вида и уровня критериям (годовая доза, доза за жизнь, загрязнение почвы цезием-137), которым соответствовали различная эффективность снижения облучения населения и различные виды и степень негативных нерадиологических последствий. Для характеристики общего объема ущерба, вызываемого защитными мероприятиями, примем масштаб радиационной и социальной защиты в единицах численности населения официально вовлеченных территорий. В таблице видно, что при конкретной радиационной ситуации в зависимости от принимаемого критерия масштабы ЗМ могут кардинально различаться. Так, если рассматривать отселение, то при различных осуществленных или

предполагавшихся в 1988–1991 гг. решениях отселению подлежали от 22 тыс. чел. при реализации «35-бэрной» концепции (предел дозы за жизнь 350 мЗв) до 91 тыс. чел. в зоне отселения, установленной законом «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» ( $S_{137} > 15 \text{ Ки/км}^2$ ). В установленной законом «зоне проживания с правом на отселение» ( $S_{137}$  от 5 до 15  $\text{Ки/км}^2$ ) – еще 152 тыс. чел.<sup>5</sup> [1]. Таким образом, уже в этом рассмотрении масштабы ЗМ в Брянской области различаются на порядок величины. Если в расчете дозы принять менее консервативные допущения и не учитывать облучение, уже полученное до 1990 г., то отселению подлежали всего 4,1 тыс. чел. В разработанных впоследствии международных рекомендациях [26] и отечественных нормах радиационной безопасности [25] критерием отселения была принята предотвращаемая доза 1000 мЗв. Тогда отселение вообще не было оправдано, так как ни в одном населенном пункте России не достигался такой уровень прогнозируемого облучения. Размах различий в масштабах ЗМ еще больше при рассмотрении общего социального ущерба от всех защитных мероприятий, включая психологические последствия, обусловленные официальным отношением к зонам радиоактивного загрязнения всех населенных пунктов с плотностью загрязнения от 1  $\text{Ки/км}^2$ . Численность населения вовлеченных территорий в 1991 г. сразу возросла до 1,5 млн чел., а к 1993 г. – до 2,7 млн чел. в 17 областях Российской Федерации. На основании законодательного закрепления жители соответствующих населенных пунктов считают себя пострадавшими от облучения, так как прописанные в законе льготы и преференции население воспринимает как убедительное подтверждение худших опасений [27].

Таким образом, анализ истории ЗМ по преодолению последствий Чернобыльской аварии показывает, что социальные последствия крупномасштабной (по размерам вовлеченной территории и численности жителей этой территории) радиационной аварии определяются в большей степени не уровнем предполагаемых радиологических последствий, а осуществлением административных решений по противорадиационной защите населения. А так как решения мотивируются представлениями о предполагаемых уровнях облучения населения, существенное значение приобретает рациональная интерпретация дозиметрических данных, характеризующих аварийную ситуацию. Иначе говоря, при общих концептуальных положениях решения определяются не только принятыми дозовыми критериями, но и интерпретацией этих критериев и реальных дозовых характеристик в виде прогнозируемых, предотвращаемых и остаточных доз.

Согласно МКРЗ (Публикация 103) [3], «планирование защитных мероприятий должно основываться на концепции «репрезентативного лица», как это описано в Публикации 101». Комиссия определяет репрезентативное лицо как индивидуума, получившего дозу излучения, которая представительна для наиболее облучаемых индивидуумов в популяции. Этот термин эквивалентен и заменяет собой понятие «критической группы», принимав-

шееся в прежних рекомендациях МКРЗ. В публикации 101 Комиссия полагает, что репрезентативное лицо, представляющее наиболее облучаемые лица в популяции, следует выбирать по дозе предполагаемого облучения так, чтобы вероятность еще большего облучения не превышала 5%. [23]. Иначе говоря, репрезентативным считается 95% квантиль распределения индивидуальных доз. Ссылаясь на результаты исследования потребления основных продовольственных продуктов в Великобритании [28], Комиссия считает, что при отсутствии конкретных местных данных можно принимать, что по внутреннему облучению вследствие пищевого поступления радионуклидов 95% квантиль распределения доз превышает среднее значение примерно в три раза. Интересно, что это совпадает с приведенными выше нашими данными обследования населения на рисунке 2, где 95% квантилю соответствует превышение над средним в 3,3 раза, а ровно трехкратное различие соответствует среднему значению доз, превышающих 90% квантиль. Это относится к дозам внутреннего излучения. Комиссия не приводит аналогичной аппроксимации по внешнему облучению. Как указано выше, по данным исследований в Брянской области после Чернобыльской аварии, дисперсия индивидуальных значений доз внешнего излучения меньше, чем по внутреннему, а 95% квантилю распределения соответствует превышение в 1,75 над средним значением [29].

Таким образом, при ориентировании на 95% квантиль распределения индивидуальных доз получаем завышение прогнозируемых доз облучения в 2–3 раза по сравнению с расчетом на среднего человека. Соответственно, ужесточаются вторичные уровни критериев принятия решений (оперативные уровни, уровни действия) в виде измеримых радиометрических показателей, например допустимые уровни содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. Так, при анализе эффективности защитных мер в агропромышленном комплексе после Чернобыльской аварии отмечено, что «уменьшение уровня допустимого содержания радионуклидов в продукции АПК в два раза привело к увеличению масштабов противоаварийных работ в АПК в 4–5 раз, а по отдельным видам продукции до 10 раз» [30]. Таким образом, применение концепции «репрезентативного лица» приводит к увеличению масштабов и длительности аварийной ситуации, численности населения вовлекаемых в ЗМ территорий и общего размера сопутствующего социального ущерба. Оправдано ли такое завышение оценки аварийной ситуации при принятии решений в условиях крупномасштабной радиационной аварии?

Основная концепция радиационной защиты – предотвращение детерминированных эффектов облучения и снижение риска стохастических последствий. В начальный период аварийной ситуации, пока существует вероятность достижения уровней облучения, соответствующих детерминированным эффектам, оправдан самый консервативный подход в расчете не только на репрезентативное лицо, но даже на гипотетически самого облучаемого человека (см. рис. 3). После получения уверенной инфор-

<sup>5</sup> В зоне проживания с правом на отселение еще 173 тыс. чел. в НП за пределами Брянской области [1].

мации о непревышении таких уровней главной задачей становится снижение радиационного риска по принципу оптимизации таким образом, чтобы принести обществу больше пользы, чем вреда, т.е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость ЗМ, включая медицинские, социально-экономические и социально-психологические последствия. По существу принципа оптимизации для принятия решений о ЗМ, направленных на снижение риска стохастических эффектов в ситуации аварийного облучения, должны приниматься в расчет сопоставимые по степени целесообразности и консервативности оценки пользы и вреда защитных мероприятий. В этом смысле концепция критической группы или репрезентативного лица входит в противоречие с принципами обоснования и оптимизации радиационной защиты. В рекомендациях МКРЗ и требованиях МАГАТЭ негативные социальные последствия ЗМ декларируются как предполагаемые быть учитываемыми, но, в отличие от радиационного фактора, никак не квантифицируются для выделения критической группы (или репрезентативного индивидуума).

Защитные мероприятия после Чернобыльской и Фукусимской аварий, направленные на снижение гипотетических стохастических радиологических последствий (необнаруженных и статистически вряд ли обнаружимых<sup>6</sup>, кроме раков щитовидной железы вследствие Чернобыля), привели к вполне реальным медицинским последствиям (гибель людей, связанная с эвакуацией после аварии на АЭС «Фукусима-1») и к известным социально-экономическим, социально-психологическим и опосредованно медицинским последствиям. Таким образом, принятые решения по защите населения в условиях аварийного облучения в низких дозах привели к тому, что гипотетические радиологические последствия предотвращены высокой ценой реальных нерадиологических последствий.

Наряду с требующей отдельного рассмотрения консервативностью в установлении дозовых критериев для принятия решений, на практике ужесточение оценки радиационной обстановки ориентированием на репрезентативное лицо, соответствующее 95% квантилю распределения индивидуальных доз, приводит к масштабированию аварийной ситуации, росту размеров территорий и численности населения, вовлекаемого в защитные мероприятия, протрагированию выполнения ЗМ и сопутствующих негативных нерадиологических последствий, к возрастанию соответствующего социального ущерба.

Исходя из изложенных соображений, в качестве одного из путей обеспечения априорного снижения социального ущерба, сопутствующего защитным мероприятиям при крупномасштабной радиационной аварии, целесообразно при планировании защиты населения ограничить масштабирование ЗМ следующим положением. На стадии аварийной ситуации, когда уже достаточно информации, чтобы считать, что максимальное облучение человека не будет достигать порогов детерминированных эффектов, решения о защитных мероприятиях, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения и со-

циально-хозяйственное функционирование территории, оправдано принимать на основе доз на среднего человека из населения, а не на наиболее облучаемых людей.

### Выводы

1. Анализ истории защитных мероприятий по преодолению последствий Чернобыльской аварии показывает, что социальные последствия крупномасштабной (по размерам вовлеченной территории и численности жителей этой территории) радиационной аварии определяются не уровнем предполагаемых радиологических последствий, а осуществлением административных решений по противорадиационной защите населения.

2. Консервативные положения рекомендаций МКРЗ и требований МАГАТЭ в сочетании с неадекватным общественным восприятием радиационного риска создают предпосылки для своего рода презумпции радиологической виновности, заключающейся в том, что на практике решения по защите населения при крупномасштабной радиационной аварии принимаются на основании радиологических критериев, не отвечающих задаче предотвращения нерадиологических последствий и соответствующих социальных ущербов, вызываемых выполнением защитных мероприятий, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения и функционирование вовлекаемой территории.

3. Планирование защитных мероприятий на основе концепции критической группы населения или «репрезентативного лица (индивидуума)» приводит к завышению прогнозируемых доз облучения в 2–3 раза по сравнению с расчетом на среднего человека. В условиях крупной радиационной аварии это приводит к расширению масштаба вовлекаемых в защитные мероприятия территорий и населения, протрагированию длительности аварийной ситуации и к увеличению сопутствующего социального ущерба, значительно превосходящему прирост гипотетической пользы от снижения облучения.

4. На стадии аварийной ситуации, когда уже достаточно информации, чтобы считать, что максимальное облучение человека не будет достигать порогов детерминированных эффектов, решения о защитных мероприятиях, нарушающих нормальную жизнедеятельность населения и социально-хозяйственное функционирование территории, оправдано принимать на основе прогнозируемых доз на среднего человека из населения, а не на наиболее облучаемых людей.

### Литература

1. 20 лет Чернобыльской катастрофы: Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России: 1986—2006: Российский национальный доклад; под ред. С.К. Шойгу и Л.А. Большова. — М., 2006. — 92 с.
2. Критерии для использования при обеспечении готовности реагирования в случае ядерной аварии или радиологической аварийной ситуации. Общее руководство по безопасности, № GSG-2. МАГАТЭ. — Вена, 2012. — 137 с.
3. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите / пер. с англ.; под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. — М.: Изд. ООО ПКФ «Алана». — 312 с.

<sup>6</sup> За исключением «ликвидаторов».

4. ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1).
5. Радиационная защита и безопасность источников излучения. Международные основные нормы безопасности GSR Part 3. МАГАТЭ. – Вена, 2015. – 515 с.
6. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Общие требования безопасности. № GSR Part 7. МАГАТЭ, Вена, 2018 – 160 с.
7. Авария на АЭС «Фукусима Дайити». Доклад Генерального директора. МАГАТЭ. – Вена, 2015. – 264 с.
8. Callen, J., Homma, Toshimitsu. Lessons learned in protection of the public for the accident at the Fukushima Daichi nuclear power plant. Health Physics, 2017, v.112, pp. 550-559.
9. Leppard, C., Tanimoto, T, Tsubokura, M. Public health after a nuclear disaster: beyond radiation risks. Bulletin of the World Health Organization, 2016, vol. 94, pp. 859-860.
10. Кислов, М.В. Некоторые аспекты переселения жителей из пострадавших в результате аварии на ЧАЭС районов Брянской области / М.В. Кислов, Н.Е. Карлин, А.Н. Либерман [и др.] // Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы. Матер. междунар. семинара. – Брянск, 1993. – ч. 1. – С. 48-50.
11. Ramzaev P.V., Ivanov E.V., Liberman A.N., Komarov E.I. Comparative assessment of public health detriment from the Chernobyl accident and countermeasures. One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. Int. Conf., Vienna, 8-12 April 1996. Poster presentations – Volume 2. IAEA-TECDOC-964, Vienna, IAEA, 1997, pp. 621-623.
12. 25 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий 1986-2011. Российский национальный доклад / Под общ. ред. С.К. Шойгу, Л.А. Большова. – М., 2011. – 160 с.
13. Цыб, А.Ф. Итоговые результаты оценки и возможные пути уменьшения медицинских последствий аварии на ЧАЭС / А.Ф. Цыб, В.В. Шахтарин, В.Ф. Степаненко, А.Д. Прошин, В.Н. Дорошенко // Здоровье детей и радиация: актуальные проблемы и решения. – М., 2005. – Выпуск 2. – С. 23-30.
14. Константинов, Ю.О. Оценка доз внутреннего облучения населения радионуклидами цезия для принятия решений о мерах радиационной защиты // Ю.О. Константинов, В.И. Пархоменко, В.С. Репин, И.Г. Травникова // Ближайшие и отдаленные последствия радиационной аварии на Чернобыльской АЭС. – М.: МЗ СССР-ИБФ, 1987. – С. 219-225.
15. Константинов, Ю.О. / Чернобыльская авария: обоснование и реализация решений по защите населения / Ю.О. Константинов // Радиационная гигиена. – 2011. – Т.4, №2. – С.59-67.
16. Аветисов, Г.М. Стратегия НКРЗ по обоснованию временных пределов доз годового облучения населения после аварии на ЧАЭС. Концепция пожизненной дозы / Г.М. Аветисов, Л.А. Булдаков, К.И. Гордеев, Л.А. Ильин // Медицинская радиология. – 1989 – Т. 34, №8. – С. 3-11.
17. Ильин, Л.А. Экологические особенности и медико-биологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС / Л.А. Ильин, М.И. Балонов, Л.А. Булдаков [и др.] // Медицинская радиология. – 1989. – Т. 34, № 11. – С. 59 – 81.
18. Методические принципы и рекомендации для расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на территории, подвергшейся радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС. Сб. методических материалов / Под ред. К.И. Гордеева. – Институт биофизики Минздрава СССР. – М., 1991.
19. МАГАТЭ. Международный консультативный комитет. Международный чернобыльский проект. Технический доклад «Оценка радиологических последствий и защитных мер». – Вена, МАГАТЭ, 1992.
20. Константинов, Ю.О. Распределение индивидуальных уровней содержания радиоактивного цезия у жителей западных районов Брянской области в первый год после аварии на ЧАЭС / Ю.О. Константинов // Радиация и риск. – 2007. – Т.16, №2-4, С. 72-83.
21. Брук, Г.Я. Дозы облучения жителей Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Г.Я. Брук, В.Я. Голиков, И.А. Звонова [и др.] // Радиационная гигиена: сб.научн. тр. – СПб, 2003. – С. 44-74.
22. Оценка доз облучения населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: сб. метод. док. – изд. 3-е. – СПб., 2011. – 456 с.
23. ICRP, 2006. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).
24. Концепция радиационной, медицинской, социальной защиты и реабилитации населения Российской Федерации, подвергшегося аварийному облучению // Российская научная комиссия по радиационной защите. – М., 1995. – 13 с.
25. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
26. ICRP 1993, Publication 63. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. ICRP Publication 63 – Annals of the ICRP, v.22, N 4, Vienna.
27. Зыкова, И.А. Чернобыль и социум: оценки риска / И.А. Зыкова, Г.В. Архангельская, И.А. Звонова. – СПб.: Эсфигмень, 2001. – 128 с.
28. Byrom, J., Robinson, C., Simmonds, J.R., Walters, B., Taylor, R.R, 1995. Food consumption rates for use in generalized radiological dose assessments, J, Radiol. Prot. 15, 335-341.
29. Голиков, В.Ю. Анализ долгосрочной динамики доз внешнего облучения после Чернобыльской аварии / В.Ю. Голиков // Радиационная гигиена. – 2018. – Т.11, №4. – С.39-50.
30. Алексахин, Р.М. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин [и др.]; под ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М.: ИздАТ, 2001. – 752 с.

Поступила: 22.04.2019 г.

**Константинов Юрий Олегович** – кандидат технических наук, пенсионер. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: yu-kon@rambler.ru

**Для цитирования: Константинов Ю.О. Защита населения при крупномасштабной радиационной аварии: ослабление негативных социальных последствий защитных мероприятий. Часть 1. Интерпретация дозовых характеристик аварийной ситуации // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С.20-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2s-20-30.**

## Protection of the public in a large-scale radiation accident: mitigation of negative social consequences of protective actions. Part 1. Interpretation of dose characteristics of emergency

Yuri O. Konstantinov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

*The protective actions which were carried out with the purpose to reduce public exposure to radiation derived from the accidents at Chernobyl and Fukushima-1 nuclear power plants have caused negative consequences of social – psychological both social-economic character and medical nonradiological consequences. The corresponding damage put to the population of involved territories and to the entire society has considerably exceeded hypothetical benefit of aversion of radiation exposure. In the present study some possible ways of aprioristic maintenance of mitigation of the social damage accompanying realization of anti-radiation protective actions at large-scale radiation accident are considered. For the characteristic of total amount of the damage caused by protective actions, the scale of radiation and social protection in terms of a population of officially involved territories is accepted. The analysis of decisions on protection of the population in the Russian Federation against consequences of Chernobyl accident shows that at concrete radiation situation scales of protective actions differ more than on the order of magnitude, depending on criteria of decision-making and their administrative realization. Another factor that determines the scale of the accident is the degree of conservatism in the assessment of the radiation situation. The analysis of results of individual dosimetric examination of inhabitants of the western districts of the Bryansk region has shown steady values of statistical characteristics of distribution of the individual doses of an external and internal radiation caused by Chernobyl accident, according to which the value of 95% quantile of distribution in 2–3 times exceeds the average value at an examined sample of the population. Thus, application of the concept of “representative person» leads to overestimation of projected doses concerning to those corresponding to stochastic radiation effects. The results of such overestimation are expansion of scales of protective actions, prolongation of emergency, increase in accompanying social damage. As one of the ways to maintain aprioristic mitigation of social damage accompanying protective actions, the following position is offered. At a stage of an emergency, when there is enough information to consider, that the maximal public exposure to radiation will not achieve thresholds of deterministic effects, the decisions on protective actions violating normal human beings and socioeconomic functioning of territory is justified to accept on the basis of doses for the average person, instead of those for the most exposed people.*

**Key words:** radiation accident, protective actions, emergency, Chernobyl accident, Fukushima-1 accident, population, critical group.

### References

- 20 years since the Chernobyl catastrophe: Results and perspectives of the mitigation of the consequences in Russia: 1986-2006. Russian National report. Ed. By S.K. Shoigu and L.A. Bolshov. Moscow, 2006, 92 p. (In Russian)
- IAEA Safety Standards. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. № GSG-2. IAEA, Vienna, 2012, 137 p. (In Russian)
- International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103: translation from English; edited by M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow, 2009, «Alana», 312 p. (In Russian)
- ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1).
- International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2015, 518 p. (In Russian)
- IAEA Safety Standards. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. GSR Part 7. IAEA, Vienna, 2018, 160 p.
- The Fukushima Daiichi Accident. Report by the Director General. IAEA, Vienna, 2015, 264 p.
- Callen, J., Homma, Toshimitsu. Lessons learned in protection of the public for the accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant. Health Physics, 2017, v. 112, pp. 550-559.
- Leppard, C., Tanimoto, T, Tsubokura, M. Public health after a nuclear disaster: beyond radiation risks. Bulletin of the World Health Organization, 2016, vol. 94, pp. 859-860.
- Kislov M.V., Karlin N.E., Liberman A.N. [et al.] Various aspects of relocation of the residents from the Bryansk region areas affected by the Chernobyl NPP accident. Issues of mitigation of the consequences of the Chernobyl NPP accident. Proceedings of the international seminar. Bryansk, 1993, pt. 1, pp. 48-50. (In Russian)
- Ramzaev P.V., Ivanov E.V., Liberman A.N., Komarov E.I. Comparative assessment of public health detriment from the Chernobyl accident and countermeasures. One decade

Yuri O. Konstantinov

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: yu-kon@rambler.ru

- after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. Int. Conf., Vienna, 8-12 April 1996. Poster presentations – Volume 2. IAEA-TECDOC-964, Vienna, IAEA, 1997, pp. 621-623.
12. 25 years since the Chernobyl NPP accident. Results and perspectives of the mitigation of the consequences 1986-2011. Russian national report. Ed. By S.K. Shoigu, L.A. Bolshov, Moscow, 2011, 160 p. (In Russian)
  13. Tsyb A.F., Shakhtarin V.V., Stepanenko V.F., Proshin A.D., Doroshenko V.N. Final results of the assessment and potential ways to reduce the medical consequences of the Chernobyl NPP accident. Health of the children and radiation: actual issues and solutions. Vol. 2, Moscow, 2005, pp. 23-30. (In Russian)
  14. Konstantinov Yu.O., Parkhomenko V.I., Repin V.S., Travnikova I.G. Assessment of the doses of the internal exposure of the public by the cesium radionuclides for the radiation protection decision-making. Nearest and remote consequences of the radiation accident on the Chernobyl NPP. MZ USSR-IBF, Moscow, 1987, pp. 219-225. (In Russian)
  15. Konstantinov Yu.O. Chernobyl accident: rationale and realization of decisions on protection of the population. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2011;4(2):59-67. (In Russian)
  16. Avetisov G.M., Buldakov L.A., Gordeev K.I., Ilyin L.A. NCRP strategy on the justification of the temporary dose limits of the annual exposure of the public after the Chernobyl NPP accident. The concept of the lifetime dose. Medical radiology, 1989, vol. 34, No. 8, pp. 3-11. (In Russian)
  17. Ilyin L.A., Balonov M.I., Buldakov L.A. [et al.] Ecological features and medico-biological consequences of the Chernobyl NPP accident. Medical radiology, 1989, vol. 34, No. 11, pp. 59-81. (In Russian)
  18. Methodical principles and recommendations for the calculation of the doses from internal and external exposure of the public residing on the territory contaminated after the Chernobyl NPP accident. Compendium of methodical materials. Ed. By K.I. Gordeev. Institute of biophysics of the Ministry of Healthcare of USSR, Moscow, 1991. (In Russian)
  19. IAEA. The international Chernobyl project technical report. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures. Report by an International Advisory Committee. Vienna, IAEA, 1992. (In Russian)
  20. Konstantinov Yu.O. Distribution of the individual levels of radioactive cesium for the residents of the Western areas of Bryansk region in the first year after the Chernobyl NPP accident. Radiatsiya i risk = Radiation and risk, 2007, Vol. 16, № 2-4, pp. 72-83. (In Russian)
  21. Bruk G.Ya., Golikov V.Yu., Zvonova I.A. [et al.] Doses to the public of the Russian Federation due to the Chernobyl NPP accident. Radiation hygiene proceedings. St-Petersburg, 2003, pp. 44-74. (In Russian)
  22. Assessment of the doses to the public of the Russian Federation due to the Chernobyl NPP accident: compendium of regulatory documents. 3d ed. St-Petersburg, 2011, 456 p. (In Russian)
  23. ICRP, 2006. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).
  24. The concept of the radiation, medical, social protection and rehabilitation of the public of the Russian Federation exposed in emergency situations. Russian scientific commission on the radiation protection. Moscow, 1995, 13 p. (In Russian)
  25. Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Norms of the radiation safety (NRB 99/2009). Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 14.08.2009 N 14534. M, Federal Centre of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p. (In Russian)
  26. ICRP 1992, Publication 63. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. ICRP Publication 63 – Annals of the ICRP, v.22, N 4, Vienna.
  27. Zykova I.A., Arkhangelskaya G.V., Zvonova I.A. Chernobyl and society: risk assessments. St-Petersburg, Esphigmen, 2001, 128 p. (In Russian)
  28. Byrom, J., Robinson, C., Simmonds, J.R., Walters, B., Taylor, R.R., 1995. Food consumption rates for use in generalized radiological dose assessments, J. Radiol. Prot., 15, 335-341.
  29. Golikov V.Yu. Analysis of the long-term dynamics of external doses of the population after the Chernobyl accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2018;11(4):39-50. (In Russian)
  30. Aleksakhin R.M. [et al.] Major radiation accidents: consequences and protective measures. Ed. By L.A. Ilyin and V.A. Gubanov. Moscow, IzdAT, 2001, 752 p. (In Russian)

Received: April 22, 2019

**For correspondence: Yuri O. Konstantinov** – PhD, retired (Mira str., 8, St.-Petersburg, 197101, Russia;  
E-mail: yu-kon@rambler.ru)

**For citation: Konstantinov Yu.O. Protection of the public in a large-scale radiation accident: mitigation of negative social consequences of protective actions. Part 1. Interpretation of dose characteristics of emergency. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2 (special issue), pp. 20-30. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426x-2019-12-2s-20-30.**