

УДК 621.039.58

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕАГИРОВАНИЯ НА РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ И РОЛЬ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ (ВАБ-3)

Кандидат физ.-мат. наук *В.А. Пантелеев*, доктор техн. наук *М.Д. Сегаль*,
кандидат психол. наук *А.В. Симонов*

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН

Важную роль при реагировании на радиационные аварии имеют проблемы обеспечения взаимопонимания и взаимодействия с общественностью. Это обеспечивает эффективное осуществление мер защиты, и ограничивает масштабирование социально-экономических и социально-психологических последствий радиационной аварии. Показана перспективность методов вероятностного анализа безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергии (ВАБ-3 ОИАЭ) для обеспечения научно-технической поддержки коммуникационным процессам при принятии решений по развитию атомной энергетики, аварийному планированию и реагированию на основе подходов управления риском.

Ключевые слова: радиационная авария, радиационная безопасность, чрезвычайная ситуация, радиотревожность, восприятие риска, ВАБ-3, вероятностный анализ безопасности.

SOCIAL-PSYCHOLOGICAL PROBLEMS OF RESPONSE TO RADIATION ACCIDENTS AND THE ROLE OF THE PROBABILISTIC SECURITY ANALYSIS OF THE THIRD LEVEL (PSA-3)

Ph.D. (Phys.-Mat.) *V.A. Panteleev*, Dr. (Tech.) *M.D. Segal*, Ph.D. (Psychol.) *A.V. Simonov*
Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

An important role in responding to radiation accidents is the problem of ensuring mutual understanding and interaction with the public. This ensures the effective implementation of protective measures and limits the scaling of the socio-economic and socio-psychological consequences of a radiation accident. The prospects of probabilistic safety analysis methods of the third level of nuclear facilities (PSA Level 3) for providing scientific and technical support to communication processes when making decisions on the development of nuclear energy and emergency planning and response based on risk management approaches are shown.

Keywords: radiation accident, radiation safety, emergency situation, radio-frequency, risk perception, PSA Level 3, probabilistic safety analysis.

Анализ радиационных аварий на Три-Майл Айленд (США, 1979), Чернобыльской АЭС (Украина, 1986) и АЭС Фукусима (Япония, 2011) показывает, что они имели гораздо менее значительные прямые последствия для жизни, чем в других отраслях энергетики. Например, разрушение плотин Вайонт (Италия, 1963) и Баньцяо (Китай, 1975) в отличие от указанных выше радиационных инцидентов привело к многотысячным жертвам (число погибших при разрушении плотины Вайонт достигло ~ 3 000 человек; количество

только прямых жертв в Баньяо составило ~ 26 000 человек, кроме того лишились жилья более 10 млн. человек, пострадало около 1,1 млн. га сельхозугодий) [1, 2].

Однако тяжелые аварии с радиоактивными выбросами характеризуются продолжительными последствиями, обусловленными масштабами, долговременным характером загрязнения территорий и возможностью проявления значительных косвенных последствий.

Как показывает опыт, отсутствие эффективных механизмов реагирования на радиационные аварии может приводить к серьезным социально-экономическим и социально-психологическим издержкам, во много раз превышающим прямой радиологический ущерб. Так, по оценкам НКДАР ООН, самыми серьезными последствиями аварии на АЭС Фукусима в плане здоровья стали психическое состояние и социальное благополучие, обусловленные тем огромным (сочетанным) воздействием, которое оказали землетрясение, цунами и ядерная авария, а также страх и распространение негативных стереотипов, связанных с гипотетической опасностью подвергнуться действию ионизирующего излучения [3].

Также как в случае чернобыльской аварии наиболее серьезными были не радиологические, а социально-психологические последствия, связанные не только с самой аварией, но и с общественной реакцией на принимавшиеся решения по защите населения и последующей реабилитации территорий [4].

Приведенные примеры говорят о существующей недооценке роли и реакции населения на чрезвычайные ситуации с радиационным фактором. Между тем понимание и учет в планах аварийного реагирования возможной реакции общества является немаловажным фактором смягчения краткосрочных и долгосрочных негативных последствий [5].

В свою очередь это требует понимания социально-психологических закономерностей восприятия радиационных рисков, специфической особенностью которых является отсутствие органолептического восприятия радиоактивности. Недостаточный уровень знаний о радиации и ее воздействии в свою очередь индуцирует ощущение опасной неопределенности, вызывает эмоциональные реакции (страх, беспокойство и замешательство в ответ на ЧС) и способствует формированию максимально преувеличенного "образа радиационной угрозы". Так одним из факторов увеличивающих негативное восприятие радиационного риска является отсроченность и неопределенность стохастических канцерогенных и наследственных дефектов. Это отрицательно влияет на психическое здоровье и общественное поведение при угрозе и возникновении радиационных инцидентов [6].

Радиотревожность у населения в связи с радиационно-гигиеническими последствиями Чернобыльской аварии проявлялась неадекватно высокими субъективными оценками опасности радиации для здоровья, психологическим напряжением и ожиданием неизбежных неблагоприятных последствий радиационного воздействия; ощущением собственного бессилия, ожиданием помощи со стороны и недоверием к эффективности этой помощи [7].

Масштабы и глубину возможных реакций на ЧС с радиационным фактором, хорошо показывают результаты недавно проведенных в Японии опросов общественного мнения. После аварии на АЭС Фукусима потенциальные опасности, связанные с радиационными авариями, переместились с 19-го места (2008 г.) на 2-е (из ранжированного ряда 51 потенциальных природных и техногенных опасностей) [8].

Следует заметить, что такой фактор общественного восприятия, как отсутствие знаний об опасности и ее специфике, имеет меньший вес, если члены общества доверяют организациям, ответственным за управление риском. В частности, неадекватный ответ с точки зрения информирования общественности об аварии на АЭС Фукусима, привел не только к негативным социально-психологическим последствиям, но и к массовой утрате доверия к японскому правительству. Проведенные после аварии опросы показали, что недоверие японцев к правительству резко возросло: около 80% избирателей не доверяли

информации правительства о последствиях аварии и радиационных рисках [5]. При этом необходимо отметить, что даже наиболее крупные аварии в других отраслях, например химической и гидроэнергетической поднимают только вопросы о необходимости увеличения безопасности потенциально опасных объектов, но не ставят вопрос о самой целесообразности развития этих отраслей в национальном или мировом масштабе.

В случае чернобыльской аварии существенным фактором повышения радиотревожности населения радиоактивно загрязненных территорий и снижению общего уровня доверия стал информационный фактор, когда спустя четыре года после аварии в СМИ появилась популистская, политизированная, и, зачастую, просто ложная информация о тяжелых и неотвратимых медицинских последствиях чернобыльской аварии, которую население не могло проверить самостоятельно. В результате в качестве стихийной меры психологической защиты у населения сформировалось недоверие к информации о радиации: к 1993 г. до 80% населения загрязненных территорий не доверяло любой информации о радиации в СМИ [7].

Общественный поведенческий ответ в свою очередь может повлиять на профессиональное управление чрезвычайными ситуациями и принятие решений. При ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС многие социально-значимые решения были приняты под давлением общественного мнения, сформировавшегося в результате неудовлетворительной информационной политики, вызвавшей недоверием к органам власти и стигматизацию радиационного воздействия, что привело к масштабированию последствий аварии, прежде всего в социально-экономической и социально-психологической сферах. Мнение научного сообщества по концепции безопасного проживания населения на загрязненных территориях было негативно воспринято общественностью и проигнорировано на правительственном уровне. Это привело к увеличению численности затронутого мерами вмешательства населения более чем на порядок, примерно с 500 тыс. до 7 млн. человек. При этом 90% территорий, включенных по закону в категорию радиоактивно загрязненных территорий, относились к зоне льготного социально-экономического статуса (1–5 Ки/км²), где дополнительные чернобыльские дозы были сопоставимы с дозами облучения от природного фона [8, 9].

Как следствие, среди широкой общественности, сформировалось искажённое восприятие воздействия радиационного фактора на здоровье человека, как в случае штатной эксплуатации объектов, так и при тяжёлых авариях. Это ярко демонстрируют результаты общероссийского опроса общественного мнения, который был проведён ИБРАЭ РАН в 2012 г. В ходе опроса более половины россиян ответили, что чернобыльская радиация стала причиной гибели тысяч, десятков тысяч и более человек. Распределение ответов по японской аварии оказалось удивительно похожим на распределение по Чернобылю (рис. 1, 2). В обоих случаях распределение ответов практически не зависело от возраста, образования, материального положения, места проживания и рода занятий респондентов [9, 10].

Эффективное информирование населения о радиационной аварии должно быть направлено на формирование адекватной общественной реакции на событие и снижение масштаба радиологических и особенно нерадиологических последствий аварии. Фактическая информация о последствиях облучения должна в понятной форме и оперативно доноситься до жителей пострадавших районов с целью расширения их знаний о стратегиях защиты, уменьшения их обеспокоенности и поддержки их собственных инициатив по обеспечению своей защиты [11].

Опыт реагирования на масштабные чрезвычайные ситуации с радиационным фактором показывает, что информационные сообщения о ЧС должны основываться на научно обоснованных данных о вероятных дозах облучения и связанных с ними возможных медицинских последствиях, содержать сведения о предпринимаемых мерах по смягчению негативных последствий [12].

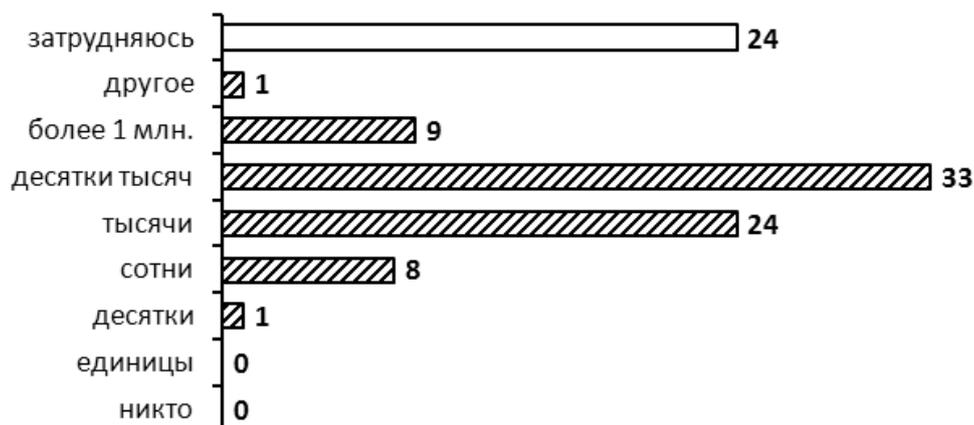


Рис. 1. Распределение ответов респондентов на вопрос «В 1986 г. произошла авария на Чернобыльской АЭС. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?», % от числа опрошенных

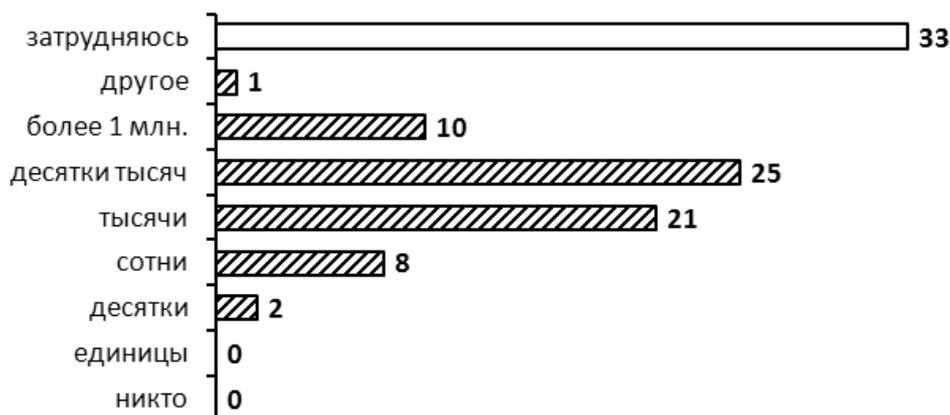


Рис. 2. Распределение ответов респондентов на вопрос «В 2011 г. произошла авария на АЭС Фукусима в Японии. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?», % от числа опрошенных

Коммуникация должна мотивировать защиту, самостоятельность, способность индивидуального (личного) реагирования на риски и угрозы. Напротив, противоречивые сообщения из различных источников могут увеличить неопределенность и страх, а также подорвать доверие к субъектам управления рисками.

При организации информирования общественности при развитии ЧС с радиационным фактором необходимо учитывать следующие объективные закономерности восприятия:

- проблема доверия к источникам информации – люди, находящиеся под высоким стрессом, более недоверчивы к сообщениям об уровнях риска;
- проблема смещения негатива – больший вес придается отрицательной, а не положительной информации;
- проблема компетентности – люди испытывают трудности в понимании научной и вероятностной информации, что требует формирования простых, понятных и последовательных сообщений, повторяющих сообщения от надежного, заслуживающего доверия источника.

Решение указанных проблем должно обеспечиваться системной работой со СМИ, а не только коммуникацией в случае возникновения ЧС. Журналисты должны знать, где они могут получить достоверную информацию, консультации и справки по всем связанным с радиацией вопросам. Позитивным примером такого подхода являются созданные в Великобритании и Японии научные медиа-центры (*Science Media Centre*), обеспечивающие не только представление средствам массовой информации научных данных по различным интересующим широкую общественность вопросам, но и участвующие в повышении квалификации журналистов, специализирующихся на освещении сложных научно-технических вопросов [13].

Острота реакции общества во многом определяется информационной политикой и наличием механизмов, позволяющих разъяснять вопросы, вызывающие обеспокоенность у населения, на местном, национальном и международном уровнях. К сожалению, имеющийся опыт и уроки аварий на «Три-Майл-Айленд» и Чернобыльской АЭС не был учтен в работе СМИ, освещавших аварию на АЭС Фукусима. После аварии были выполнены исследования по тому, как представлялась информация о ней в европейских и российских СМИ (использовались 1340 газетных статей из Бельгии, Италии, Норвегии, России, Словении и Испании) [14].

Проведенный анализ указанных публикаций выявил значительное количество ошибок, появившихся в газетах. Это свидетельствует, во-первых, о том, что сообщения, исходящие от экспертов, не всегда были достаточно ясными и понятными неспециалистам. Во-вторых, журналистам зачастую не хватало необходимых знаний по радиационным вопросам, чтобы иметь возможность правильно объяснить полученную информацию или оценить ее достоверность. Важным моментом явилось смещение акцентов в освещении событий – СМИ преподносили ситуацию таким образом, что авария на АЭС представляет собой наибольшую опасность для жизни и здоровья людей, несмотря на то, что погибших или пострадавших непосредственно от лучевых поражений не было и отдаленных радиогенных эффектов у населения не ожидается [15], а вследствие землетрясения и последовавшего за ним цунами погибло или пропало без вести 18,5 тысяч человек, более 200 тыс. человек лишились жилья [16].

Таким образом, косвенным следствием аварии явилось представление ядерных технологий, как чрезвычайно рискованных и уязвимых к внешнему влиянию и человеческим ошибкам.

Понимание сложности и практической значимости достижения взаимопонимания между лицами, принимающими решения, специалистами и гражданами, обеспокоенными потенциальной возможностью радиационного воздействия, нашло отражение в проведении в 2015 году первой международной конференции по риску «Восприятие, общение и этика облучения ионизирующим излучением» (RICOMET) [17].

На конференции были отмечены трудности организации согласованного коммуникационного подхода к оценке и интерпретации рисков при информировании населения и лиц, принимающих решения. Решение этих проблем видится в развитии процессов образования, обучения и коммуникации для поддержки информационной работы с общественностью и принятия решений, связанных с радиационными рисками.

Это особенно важно для представителей органов власти и управления и лиц, принимающих решения на всех уровнях, при угрозе возникновения или возникновении чрезвычайной ситуации радиационного характера.

К числу перспективных инструментов обеспечения решения этой задачи, а так же готовности к радиологической аварийной ситуации и реагированию следует отнести средства вероятностного анализа безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергии (ВАБ-3 ОИАЭ). При прогнозировании радиационных рисков от аварий на ОИАЭ важную роль играют не только конструктивные особенности объектов, опреде-

ляющие масштаб и частоту выбросов, а в конечном итоге дозы облучения населения и загрязнения территорий. Определение этих величин является задачей ВАБ-3 [18–19].

Методология ВАБ-3 ОИАЭ позволяет оценить функции распределения вероятности случайных величин, характеризующие радиационные аварии, таких как:

- индивидуальные дозы облучения на территории;
- радиоактивные выпадения на территории;
- коллективные дозы облучения;
- число людей с дозами, превышающими определенный уровень;
- размер территорий с загрязнением, превышающим определенный уровень.

Функции распределения указанных случайных величин позволяют провести оценку количественных характеристик индивидуального, территориального, социального и коллективного рисков в натуральных и финансово-экономических показателях с учетом специфики радиационных аварий. Это дает возможность обеспечить научно-техническую поддержку лиц, принимающих решения не только при ликвидации последствий радиационной аварии, но и при разработке планов реагирования на аварии, подготовке материально-технического обеспечения и готовности соответствующих сил и средств. К ним относится обширный комплекс мероприятий по возможной эвакуации населения, оказанию медицинской помощи, обеспечению убежищами и укрытиями. Принятие решений в условиях ограниченности материальных ресурсов должно базироваться на научной основе, которую и может предоставить методология ВАБ-3.

Кроме того, результаты ВАБ-3 дают возможность принимать объективные и взвешенные решения при размещении объектов использования атомной энергии на основе коммуникационных процессов между экспертами, властями и населением, которые базируются на сравнении с уровнем приемлемых и существующих рисков, рисков альтернативных технологий и технических решений.

Это особенно важно, поскольку механизмы социального усиления восприятия радиационного риска, как показывает опыт, при возникновении радиационной аварии характеризуются возникновением “эффекта домино”, то есть каскада событий, приводящего к росту масштабов аварии как в пространственном, так и во временном аспектах (масштабирование аварии и ее последствий) [20].

Результаты ВАБ-3 позволяют предоставить заинтересованным лицам информацию о рисках связанных с авариями на ОИАЭ в обычном виде для практики оценки рисков в неядерных отраслях, таких как территориальный и индивидуальный риски, $F-N$ кривые социального риска, вероятность превышения определенного уровня негативного воздействия и т.д. В отличие от ВАБ-1 и ВАБ-2, которые согласно требованиям нормативного документа РБ-032-04 [21] должны проводиться для атомных станций, результатом которых являются только оценки вероятности повреждения источников радиоактивности и вероятности и масштабы выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду.

Ниже приведены примеры оценок количественных характеристик риска на острой фазе модельной запроектной аварии (10 суток) при условии ее реализации с вероятностью 1 и отсутствии контрмер по защите населения.

На рис. 3-4 приведены примеры оценок территориального и социального пожизненного риска онкологических заболеваний.

На рис. 5 приведен пример интегрального вероятностного распределения количества людей с превышением величины эффективной дозы за 10 суток более 5, 50 и 500 мЗв. Данный результат можно трактовать как дополнительную функцию распределения количества населения для которых возможно целесообразна реализация мероприятия «укрытие» (> 5 мЗв), необходимо мероприятие укрытие или возможно целесообразна эвакуация (> 50 мЗв) и необходима эвакуация (> 500 мЗв) согласно СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».

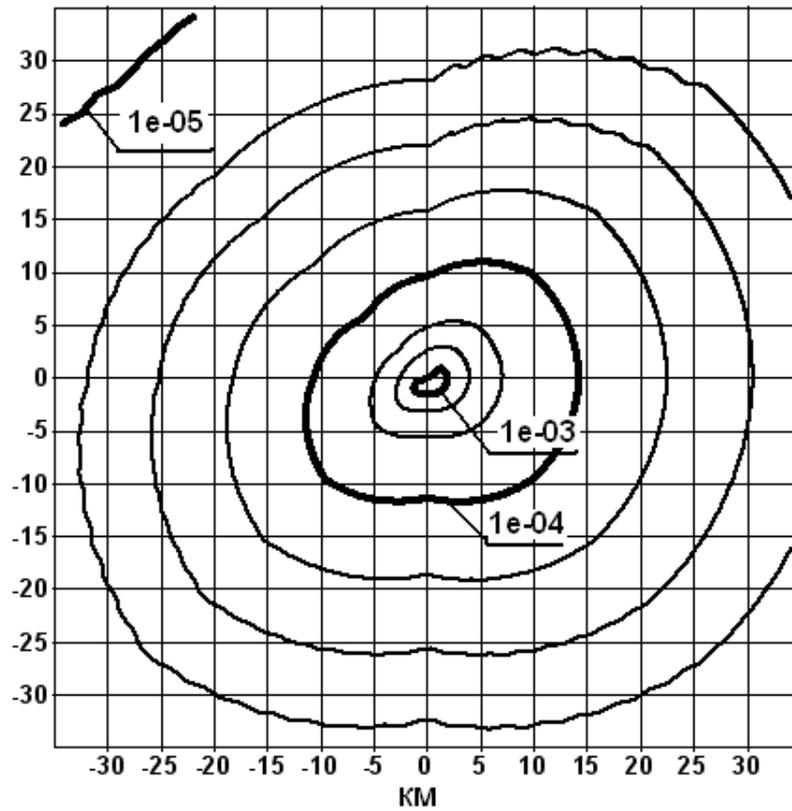


Рис. 3. Модельный пример оценки территориального пожизненного риска онкологических заболеваний на острой фазе запроектной аварии АЭС при вероятности реализации аварии 1 и отсутствии контрмер

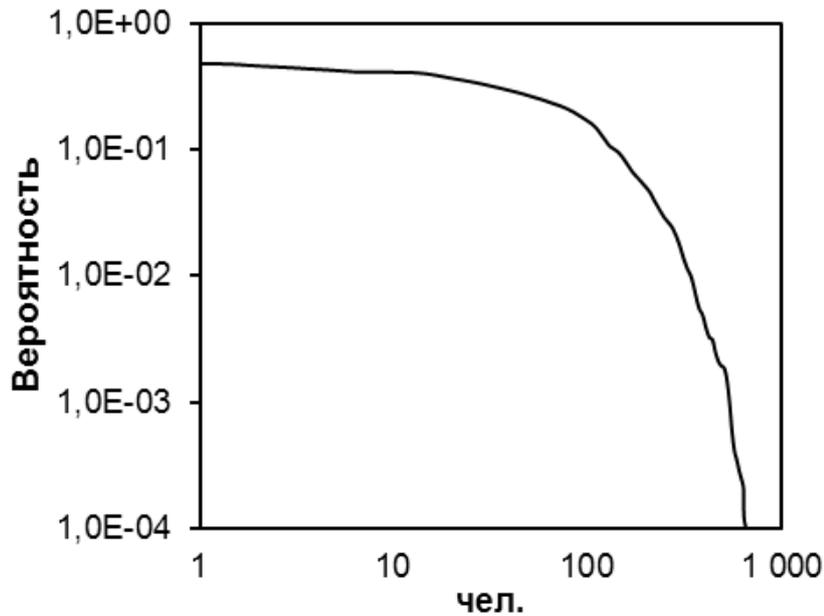


Рис. 4. Модельный пример оценки социального пожизненного риска онкологических заболеваний на острой фазе запроектной аварии АЭС при вероятности реализации аварии 1 и отсутствии контрмер

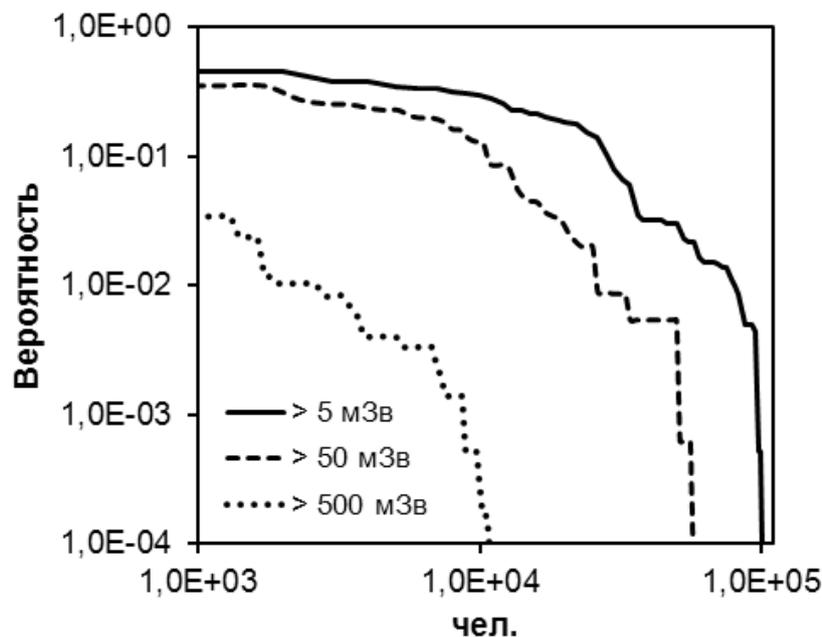


Рис. 5. Модельный пример оценки вероятностного распределения населения с превышением эффективной дозы за 10 суток 5, 50, 50 мЗв на острой фазе запроектной аварии АЭС при вероятности реализации аварии 1 и отсутствии контрмер

Заключение

Как показывает опыт, многие косвенные социально-психологические последствия ЧС с радиационным фактором для общества могут быть больше, чем прямой физический ущерб, непосредственно связанный с уровнем радиационного воздействия. При организации реагирования на ЧС в первую очередь, как правило, концентрируют усилия на совершенствовании технологических и организационных подходов, не уделяя достаточного внимания контролю общественной реакции. Вместе с тем представители общественности могут, и должны играть конструктивную роль в процессе реагирования на чрезвычайные ситуации, способствовать формированию адекватного общественного восприятия угрозы, субъектов и мер по управлению рисками.

Коммуникационные процессы (обмен информацией между экспертами, властями и населением) являются ключевой компонентой, определяющей восприятие обществом радиационных рисков. Негативную роль при этом могут играть недоверие между общественностью и коммуникаторами, неопределенности и пробелы в знаниях для оценки рисков, смещение акцентов в сообщениях СМИ и др. Следовательно, наряду с повышением стандартов и культуры безопасности в атомной энергетике, необходимо обратить серьезное внимание как на обеспечение научно-технической поддержки лиц, принимающих решения по защите населения при радиационной аварии, так и на организацию диалога экспертного сообщества с населением и СМИ на основе применения современных информационных технологий. Что касается методологии ВАБ-3 ОИАЭ, то результаты анализа позволят обеспечить научно-техническую поддержку не только коммуникационным процессам при принятии решений по развитию атомной энергетики в целом, а так же аварийному планированию и реагированию на основе процессов оценки и управления риском.

Литература

1. Hogberg L. Root Causes and Impacts of Severe Accidents at Large Nuclear Power Plants // *Ambio*. – 2013. – т. 42, № 3. – с. 267–284.
2. He X. Y., Wang Z. Y., Huang J. C. Temporal and spatial distribution of dam failure events in China // *International Journal of Sediment Research*. – 2008. – т. 23, № 4. – с. 398-405.
3. UNITED NATIONS, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report, Vol. I, Scientific Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).
4. 30 лет Чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий в России: 1986-2016: Российский национальный доклад // Под ред. В.А. Пучкова и Л.А.Большова. – М. - 2017. – 202 с.
5. Krieger K., Amlôt R., Brooke Rogers M. Understanding public responses to chemical, biological, radiological and nuclear incidents — Driving factors, emerging themes and research gaps // *Environment International*. – 2014. – т. 72. – с. 66–74.
6. Румянцева Г.М., Чинкина О.В., Бежина Л.Н. Радиационные инциденты и психическое здоровье населения. – М.: ФГУ “ГНЦССП”. – 2009. – 288 с.
7. Зыкова И.А., Архангельская Г.В., Звонова И.А. Чернобыль и социум: оценки риска. С.Пб.: МАПО-НИИРГ. – 2001. – 140 с.
8. 30 лет Чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий в России: 1986-2016: Российский национальный доклад // Под ред. В.А. Пучкова и Л.А.Большова. – М. – 2017. – 202 с.
9. Р.В. Арутюнян, Л.А. Большов, И.И. Линге, Е.М. Мелихова, С.В. Панченко. Уроки Чернобыля и Фукусимы: актуальные проблемы совершенствования системы защиты населения и территорий при авариях на АЭС // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. - 2016, т. 61, № 3, с. 36–51.
10. Мелихова Е.М., Быркина Е.М., Першина Ю.А. О некоторых механизмах социального усиления риска для здоровья при освещении в СМИ аварии на АЭС Фукусима // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. - 2013, т. 58, № 4. с. 5–16.
11. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Report of ICRP Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan vis-à-vis the ICRP System of Radiological Protection, ICRP, Ottawa (2012).
12. Erik R. Svendsen Y., Toshihide Tsuda, Jean Remy Davee Guimaraes, Martin Tondel. Risk Communication Strategies: Lessons Learned from Previous Disasters with a Focus on the Fukushima Radiation Accident | SpringerLink // *Global Environmental Health and Sustainability*. –2016. – Vol. 3, № Issue 4. – pp. 348–359.
8. Takebayashi Y., Lyamzina Y., Suzuki Y., Murakami M. Risk Perception and Anxiety Regarding Radiation after the 2011 Fukushima Nuclear Power Plant Accident: A Systematic Qualitative Review // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2017. – Т. 14, № 11.
13. Tanaka M. Agenda Building Intervention of Socio-Scientific Issues: A Science Media Centre of Japan Perspective | SpringerLink // *Lessons From Fukushima*, 2015. – pp. 27–55.
14. Tomkiv Y., Perko T., Oughton D. H., Prezelj I., Cantone M. C., Gallego E. How did media present the radiation risks after the Fukushima accident: a content analysis of newspapers in Europe // *Journal of Radiological Protection*. – 2016. – т. 36, № 2. –с.64-83.

15. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» / Р.В. Арутюнян, Л.А. Большов, А.А. Боровой, Е.П. Велихов; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, — М.: 2018. —408 с.
16. Nakaya N., Nakamura T., Tsuchiya N. and etc. Prospect of future housing and risk of psychological distress at 1 year after an earthquake disaster // Psychiatry and Clinical Neurosciences. — 2016. — Т. 70, № 4. —с. 182-189.
17. Allisy-Roberts P., Turcanu C., Hardeman F. First International Conference on Risk Perception, Communication and Ethics of Exposures to Ionizing Radiation (RICOMET)-special section editorial // Journal of Radiological Protection. — 2016. —т. 36, № 2. — с. E11–E14.
18. Арутюнян Р.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д. Состояние разработки вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3) для объектов использования атомной энергии. — Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2016, № 2, с. 49—57.
19. Арутюнян Р.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Панченко С.В. Вероятностный анализ безопасности третьего уровня ВАБ-3 как этап повышения безопасности. Атомная энергия. — 2017, т. 123, вып. 6, с. 344–349.
20. Арутюнян Р.В., Красноперов С.Н., Сегаль М.Д. Анализ причин масштабирования социально-экономических последствий радиационных аварий. — Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2009, № 2, с.112—117.
21. Основные рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций. РБ–032–04. Утв. пост. Федеральной службы по атомному надзору от 21.04.2004 г. № 3.

Сведения об авторах

Пантелеев Владимир Александрович — старший научный сотрудник ИБРАЭ РАН, (495) 955 22 14, e-mail: pant@ibrae.ac.ru

Сегаль Михаил Давыдович — ведущий научный сотрудник Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, (495) 955 22 14, e-mail: nag@ibrae.ac.ru;

Симонов Александр Васильевич — заведующий отделом ИБРАЭ РАН, тел. (495) 955-23 37, e-mail: sim@ibrae.ac.ru