Оценки экономических последствий и эффективности временной эвакуации населения в префектуре Фукусима

Арон Д.В.

ФГБУН Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

В связи с необходимостью оценки социальных и экономических последствий проведения масштабных мероприятий по эвакуации населения при авариях на АЭС, в частности, на «Фукусима-1» в Японии, в ИБРАЭ РАН производятся соответствующие расчёты на основании находящейся в открытом доступе информации по социально-экономическим параметрам затронутых территорий и данным по радиационной обстановке. За период с 2011 по 2017 гг. был накоплен значительный объём данных по численности и составу населения, особенно-стям территории и радиационной обстановке в Японии, для обработки которых была предложена специализированная информационная система. С её помощью были получены оценки численности населения, площадей территории и объёмов затронутых экономических ресурсов для официально установленных зон эвакуации и отселения в границах префектуры Фукусима. Получены оценки сумм экономического ущерба от реализации масштабных мероприятий и произошедших социально-экономических изменений в населённой местности в результате реализации мер реагирования на радиационное загрязнение территории в период с 2011 по 2017 гг. Рассчитаны ожидаемые индивидуальные и коллективные дозы облучения населения для рассматриваемых территорий, а также дозы, предотвращённые за счёт принятых мер защиты населения. Были рассмотрены альтернативные сценарии проведения эвакуации на основе более мягких дозовых критериев, удовлетворяющих требованиям рекомендаций МКРЗ 103, и получены оценки экономических последствий их реализации.

Ключевые слова: *радиационная авария, защита населения, эвакуация, отселение, информационная система, социально-экономические последствия, экономический ущерб, дозы облучения, радиационный риск, компенсации.*

Введение

Крупные техногенные радиационные аварии, сопровождающиеся масштабным радиационным загрязнением территорий, влекут за собой социально-экономические изменения, обусловленные предпринимаемыми мерами по ограничению облучения населения. Экономический и социальный ущерб, сопутствующий реализации мероприятий по его защите и реабилитации пострадавших территорий, может быть оптимизирован за счёт взвешенного подхода к планированию масштабов и стоимости их проведения, сопутствующего ущерба для экономики и радиационных рисков в рамках требований общепринятых нормативных документов. Таким образом, существует необходимость в разработке подходов по оценке социально-экономических последствий и радиационных рисков при реализации различных сценариев реагирования на радиационные аварии, а также в создании соответствующих технических инструментов, которые позволяли бы производить такие оценки на разных стадиях их протекания.

С 2011 г. в ИБРАЭ РАН ведутся работы по сбору и анализу информации по радиационной обстановке вокруг АЭС «Фукусима-1». Отдельный интерес вызывает реализация японской стороной мер по защите населения: порядок проведения эвакуации, дезактивация территорий, возвращение населения, а также процедуры осуществления выплат компенсации пострадавшим жителям и экономическим агентам.

Арон Д.В. – научн. сотр. ИБРАЭ РАН.

Контакты: 115191, Москва, ул. Большая Тульская, 52. Тел.: +7 (495) 276-20-00, доб. 466; e-mail: aron@ibrae.ac.ru.

По состоянию на начало 2018 г. конкретно для территории Японии и наиболее затронутой в результате радионуклидных выпадений префектуры Фукусима доступная информация о стоимости и эффективности проведённых защитных мероприятий, а также суммах сопутствующего ущерба, связанного с последствиями аварии, остаётся неполной. В частности, заявления и отчёты организаций, контролирующих процесс реабилитации пострадавших территорий, не позволяют сделать однозначного заключение об экономической эффективности реализованных мероприятий по эвакуации, отселению и дезактивации [1, 2]. В связи с этим остаётся актуальной задача проведения расчётов радиологических и экономических последствий аварии на основании открыто публикуемых данных статистики и собираемых данных по радиационной обстановке на затронутых территориях.

С точки зрения оптимизации мер аварийного реагирования и вмешательства при ликвидации последствий радиационного загрязнения территорий, в оценках нуждались финансовые затраты и ущербы государства, напрямую связанные с проведением временной эвакуации, отселением жителей и сопутствующими изменениями экономических условий на этих территориях. Затраты на вывод из эксплуатации самой АЭС, а также косвенные экономические потери для незатронутых аварией территорий и другие трудно прогнозируемые эффекты, отразившиеся впоследствии на экономике региона, не связаны напрямую с радиационными рисками и ущербом здоровью жителей, в связи с чем выходят за рамки интереса данного исследования.

Результаты независимых расчётов социальных и экономических последствий данной аварии ранее проводились в ИБРАЭ РАН [3-5] на основании накопленных к маю 2011 г. данных по радиационной обстановке и официальных данных Бюро статистики Японии по экономике и демографии префектуры Фукусима за 2005-2009 гг. [6]. К 2017 г. и в самой обстановке на затронутых территориях, и в технологиях обработки данных наступил ряд изменений, которые привели к необходимости пересмотреть полученные ранее результаты и провести новые расчёты.

Материалы и методы

Полученные в период с 2011 по 2015 гг. результаты требовали пересмотра в связи с изменением границ зон эвакуации, формированием зоны возвращения населения и зоны долгосрочного отселения (рис. 1). Так, объявленная в 2011 г. территория добровольной эвакуации, распространявшаяся до 30 км вокруг АЭС, перестала действовать по радиационным критериям, и расчёты для неё потеряли актуальность. К лету 2017 г. были окончательно определены зоны проведения дезактивации, возвращения части жителей из эвакуации, а также та зона, куда возвращение не планируется проводить в обозримом будущем. Возникла необходимость в проведении новых расчётов всех видов ущерба для вновь определенных зон.

К 2017 г. в открытом доступе появились официальные данные по стоимости проведения дезактивации и суммам выплачиваемых пособий для жителей, находящихся в эвакуации, что позволяло включить их в общие затраты и использовать при оценке экономической и радиологической эффективности проведённой временной эвакуации населения [7].

Из-за низкой пространственной детализации самих исходных данных по населению и радиационной обстановке в 2011 г. уже к 2014 г. ряд задач, касающихся расчётов для новых формирующихся зон дезактивации и возвращения населения, не могли быть решены с помощью старой информационной системы.

Рис. 1. Зоны проведения защитных мероприятий.

А – зона обязательной эвакуации в 2011 г.; Б – зона добровольной эвакуации в 2011 г.;
В – зона возвращения населения в 2014-2017 гг.; Г – зона отселения в 2017 г.

С 2012 г. на территории префектуры Фукусима была налажена работа системы радиационного мониторинга, данные с постов которой доступны сегодня в удобной для обработки форме [8]. Это открывало возможности использовать в расчётах реальные данные в динамике, с большей достоверностью оценивать дозы облучения и определять границы зон радиационного загрязнения территорий на карте, а также приступить к оценкам коллективных доз облучения, которые могли быть предотвращены за счёт завершающейся временной эвакуации.

По муниципалитетам префектуры Фукусима появились обновлённые демографические и финансовые показатели за послеаварийные годы, что позволяло оценивать изменения в её экономике. Также с 2017 г. стали доступны официальные данные по численности и составу населения и типам землепользования с высоким пространственным разрешением для территории всей Японии в формате векторных карт на официальном интернет-ресурсе Бюро статистики Японии [4] на пространственной регулярной сетке с разрешением от 100 до 500 м. Это давало возможность для любой территории значительно повысить точность и достоверность расчётов по численности населения, предполагаемым коллективным дозам его облучения, а также площадям, задействованным под различные виды экономической деятельности.

В связи с появлением в свободном доступе в 2017 г. более детальных данных по демографии, экономике и радиационной обстановке в префектуре Фукусима возникла необходимость в создании новой информационной системы, отвечающей требованиям к хранению и быстрой обработке больших объёмов информации с привязкой к территории. В результате была разработана реляционная база данных по территории префектуры Фукусима, где вся доступная информация привязывалась к ячейкам регулярной пространственной сетки, с разрешением порядка 0,01 км².

Для каждой ячейки сетки установлен тип землепользования, численность постоянно проживающего к началу 2011 г. населения, идентификатор муниципалитета и зоны эвакуации (или отселения), к которой она относится в соответствии с рис. 1. При наполнении базы данных использовались следующие данные: совокупный доход муниципалитета (за 2007 и 2015 гг.); объём торговли (за 2006 и 2013 гг.); объём производства (за 2007 и 2017 гг.); объём сельскохозяйственного производства (за 2006 г.); число строений (в 2013 г.); средняя площадь здания (в 2014 г.); средняя стоимость жилой, коммерческой и производственной недвижимости (за 2005 и 2009 гг.); совокупная площадь жилых, коммерческих и производственных зданий (в 2014 г.) и ряд других параметров. Некоторые ресурсы привязывались только к ячейкам регулярной пространственной сетки с ненулевым населением пропорционально числу жителей в них, либо распределялись в границах муниципалитета среди ячеек, относящихся к застроенным территориям, что позволяет более достоверно отразить их распределение по территории.

В базе данных использовались реальные показания мощности дозы системы радиационного мониторинга по территории префектуры Фукусима за период с 29 апреля 2011 г. по 15 июня 2017 г.

Значения накопленной эффективной дозы для населения в каждой из ячеек рассчитывались численным интегрированием по мощности дозы за требуемый временной период с учётом рекомендованного коэффициента экранирования 0,4 [9]. Долгосрочный прогноз доз облучения на периоды после 2017 г. строился из консервативного предположения, что его снижение в последующие годы будет определяться исключительно радиоактивным распадом изотопа ^{137}Cs (с учётом того, что влияние на фон излучения других радиоизотопов и процессов естественного заглубления ^{137}Cs в почве к этому сроку будет несущественным), что подтверждается исследованиями [10] по оценке накопления доз для загрязнённых территорий после аварии на Чернобыльской АЭС.

Сформированная таким образом база данных позволяет посредством простых запросов рассчитывать численность населения, площади территорий и объёмы ресурсов для любых территориальных зон. Она также включает в себя достаточный объём реальных данных измерений и прогнозов радиационной обстановки, чтобы с удовлетворительной точностью восстановить или спрогнозировать индивидуальные и коллективные дозы облучения жителей, проживающих в любой части префектуры Фукусима.

Исходя из имеющихся исходных данных для обработки, к прямым экономическим потерям, сопряжённым с временной эвакуацией, были отнесены потери доходов жителей и юридических лиц, а также расходы на проживание в эвакуации, либо замещающие их компенсационные выплаты. Потери доходов могут, в отдельных случаях, быть выражены через убытки промышленного производства, сельского хозяйства или другой экономической деятельности, свойственной для исследуемой территории. При долгосрочном отселении к ним целесообразно добавить безвозвратные потери недвижимого имущества, которые должны быть также компенсированы. К потерям может быть отнесена стоимость работ по дезактивации территории, которая в случае аварии на АЭС «Фукусима-1» была официально опубликована в 2017 г. и не требует дополнительной оценки [6].

Один из способов оценки совокупного прямого ущерба экономике от проведения масштабных мер вмешательства – суммирование соответствующих ущербов и затрат по всем территориям, оказавшимся в зонах временной эвакуации и долгосрочного отселения. Для каждого

элементарного участка территории площадью 1 га на основе данных по муниципалитетам, численности населения и числу строений были рассчитаны такие параметры, как совокупные доходы, объёмы товарного производства, объёмы производимой сельхозпродукции, доходы от торговли и совокупная стоимость недвижимости. Также были учтены официальные суммы компенсаций жителям на время их пребывания в эвакуации и единовременных пособий по возвращению [11].

Результаты и обсуждение

С целью обоснования проведения эвакуации в границах 2011 г. с помощью информационной системы были оценены предполагаемые коллективные дозы облучения жителей для зон «А» и «Б» (рис. 1). За период до середины 2017 г. дозы были оценены на основании реальных показаний системы радиационного мониторинга в префектуре Фукусима с учётом фактора экранирования 0,4 [9]. Дозы с учётом более поздних периодов, до 70 лет после эвакуации, рассчитывались на основе консервативных прогнозов спада мощности дозы и их можно рассматривать как верхние оценки. Результаты расчётов в динамике (рис. 2) демонстрируют, что в долгосрочной перспективе за счёт длительной эвакуации дозы облучения от радиоактивных выпадений для населения можно снизить на 12 тыс. чел.-Зв.

Рис. 2. Оценка прогнозируемой коллективной дозы облучения населения для зон эвакуации, объявленных в 2011 г.: А – зона обязательной эвакуации; Б – зона добровольной эвакуации.

Аналогичные расчёты были проведены для зон «В» и «Г» (рис. 1), сформированных к 2017 г. Результаты (рис. 3) демонстрируют, что ожидаемая коллективная доза в зоне «В» будет заметно ниже, чем в зоне «Г», хотя до эвакуации в ней проживало почти вдвое больше жителей. Это свидетельствует о том, что план по дезактивации и возврату населения был реализован в наименее загрязнённых районах, а сама задача снизить число долгосрочно отселяемых жителей была выполнена достаточно эффективно.

Предотвращённую коллективную дозу за счёт временной эвакуации в зоне «В» требовалось оценивать независимо для разных участков, так как отмена эвакуации в ней шла в несколько этапов в период с 2014 по 2017 гг. (более детально процесс описан в [7]). На рис. 4 представлено распределение числа жителей зоны «В» по предотвращённой индивидуальной дозе облучения за весь период временной эвакуации. Из него следует, что для подавляющего

числа эвакуированных предотвращённая доза не превысила 30 мЗв и приблизительно для трёх сотен человек могла составить 30-50 мЗв. Таким образом, столь продолжительная эвакуация, объявленная на этой территории в 2011 г., не привела к значимому снижению радиационных рисков. Суммарная предотвращённая коллективная доза за счёт временной эвакуации в зоне «В» была оценена в 1,53 тыс. чел.-Зв. Благодаря высокой детализации исходных данных представленные оценки по дозам могут являться наиболее точным из тех, которые на сегодняшний день можно получить на основании общедоступной информации.

Рис. 3. Оценка прогнозируемой коллективной дозы облучения населения для зон эвакуации, объявленных в 2011 г.: В – зона возвращения жителей в 2014-2017 гг.; Г – зона долгосрочного отселения.

Рис. 4. Распределение числа жителей в зоне «В» по величине предотвращённой индивидуальной дозы гамма-облучения за всё время их пребывания в эвакуации.

Для оценки сопутствующих экономических эффектов от проведения эвакуационных мероприятий в префектуре Фукусима были оценены основные характеристики зон проведения защитных мероприятий, установленных в 2011 и 2017 гг. (табл. 1-4). Некоторые официальные данные по характеристикам этих территорий и эвакуированному населению на них в период 2011-2017 гг. приводятся в отчёте Министерства окружающей среды Японии [12].

За обоснованный ущерб для государства, напрямую связанный с принятыми решениями по эвакуации, были приняты потери доходов и компенсационные выплаты по временно отселённой зоне «В» и зоне «Г», для которой необходимо учесть необходимые компенсации потери недвижимого имущества. За период с 2011 по 2017 гг. сумма недополученных доходов для зоны «Г» могла достигнуть 13,5 млрд долл. США, а суммарно для зон «В» и «Г» – 41,5 млрд долл. США, но были ли они в действительности выплачены и за какой именно период – пока что достоверно нет возможности установить.

Оценка для регулярных и единовременных выплат для всех жителей зоны «В» на период эвакуации составила 4 426,2 млн долл. США. Для жителей зоны «Г» такие выплаты, вероятно, уже не производились после решения об отселении, ввиду чего полагаются равными годовым значениям или сумме порядка 270 млн долл. США.

Таблица 1

Оценка основных параметров территории в зонах эвакуации

Зона	Население, чел.	Домохозяйства	Площадь, км ²		
			полная	сельскохозяйственные земли	застроенные земли
«А»	86 591	28 963	1 126,07	206,07	41,61
«Б»	58 664	20 460	475,00	89,61	22,80
В сумме	145 255	49 424	1 601,07	295,68	64,41

Таблица 2

Оценка экономических параметров для зон эвакуации

Зона	Доходы, млн долл. США/год	Товарное производство, млн долл. США/год	Производство агропродукции, млн долл. США/год	Стоимость недвижимости, млн долл. США
«А»	6 906,4	1 357,1	101,8	3 244,2
«Б»	4 098,0	1 191,1	26,4	1 693,0
В сумме	11 004,3	2 548,2	128,2	4 937,2

Таблица 3

Оценка основных параметров территории в зонах отселения и проведения дезактивации

Зона	Население, чел.	Домохозяйства	Площадь, км ²		
			полная	сельскохозяйственные земли	застроенные земли
«В»	63 967	21 365	829,81	155,97	29,31
«Г»	22 807	7 651	332,70	51,12	12,68
В сумме	86 774	29 016	1 162,51	207,08	41,99

Таблица 4

Оценка экономических параметров для зон отселения и проведения дезактивации

Зона	Доходы, млн долл. США/год	Товарное производство, млн долл. США/год	Производство агропродукции, млн долл. США/год	Стоимость недвижимости, млн долл. США	Регулярные пособия на время эвакуации, млн долл. США/год	Единовременные пособия при возвращении, млн долл. США
«В»	4 675,3	960,7	72,4	2 329,7	752,3	153,8
«Г»	2 251,3	399,5	30,9	914,5	268,2	55,1
В сумме	6 926,6	1 360,2	103,3	3 244,2	1 020,5	208,9

С учётом суммарных потерь дохода на эвакуированных территориях, социальных и компенсационных выплат за потерю недвижимости, ущерб от эвакуации может составлять до 47 млрд долл. США. Кроме того, 12 млрд долл. США – официальный бюджет дезактивации, проводимой в зоне «В» и ещё 12 млрд долл. США – за её пределами [7]. Таким образом, совокупные прямые затраты государства на снижение воздействия радиационного фактора на население могли достигать 70,2 млрд долл. США. Эта сумма примерно на 30% ниже оценок ИБРАЭ РАН, сделанных в 2011 г., в основном, из-за изменения границ зон эвакуации и долгосрочного отселения, а также подходов к оценке безвозвратных потерь имущества на отселяемых территориях.

Полученные результаты пока что сложно сопоставить с объёмами реально выплаченных компенсаций, так как этот процесс ещё не завершён, а официальные данные, где были бы разобраны статьи расходов и получатели выплат с подобной детализацией, в открытом доступе отсутствуют. Однако, в соответствии с «Контрактом на возмещение ядерного ущерба» к апрелю 2018 г. компания ТЕРСО уже получила от государства 74,5 млрд долл. США для выплаты компенсаций, связанных с радиационным ущербом [11]. Всего же затраты на ликвидацию последствий аварии, включая вывод из эксплуатации АЭС «Фукусима-1», по последним официальным заявлениям японской стороны, приближаются к 200 млрд долл. США [13].

Стоит отметить, что формирование зоны обязательной эвакуации в 2011 г. проводилось в несколько этапов, в том числе, на основании прогнозируемых доз облучения населения на ближайший год. Так, северо-западная её часть была сформирована с учётом критерия 20 мЗв дозы внешнего облучения населения за первый год после аварии, при этом применялся коэффициент экранирования с учётом пребывания в помещениях на уровне более 0,73 [14]. Однако, при планировании зон проведения дезактивации и возвращения населения выяснилось, что на значительных территориях обязательной зоны эвакуации ожидаемые дозы даже в первый год были значительно ниже 20 мЗв. Это вынуждает изучить альтернативные сценарии проведения эвакуации в меньших масштабах в чётком соответствии с дозовыми критериями, что позволило бы снизить её негативные социальные и экономические эффекты.

В табл. 5 представлены оценки характеристик и ожидаемых сопутствующих ущербов от эвакуации в альтернативных зонах, определённых с помощью информационной системы по критерию ожидаемой индивидуальной дозы облучения жителей за первый год после аварии в сравнении с реальной зоной эвакуации 2011 г. (зона А на рис. 1). В качестве критериев принимались значения внешней индивидуальной дозы гамма-излучения от выпадений на почву от 20 до 80 мЗв (с учётом коэффициента экранирования за счёт условий проживания, принимаемого равным 0,4), при которых, в соответствии с рекомендациями МКРЗ 103 [15], эвакуация не является обязательной мерой.

Сравнение расчётов демонстрирует, что изначально корректное определение зоны ожидаемой дозы для населения в 20 мЗв и проведение эвакуации по ней позволило бы эвакуировать на 68% меньше жителей, сократить потери доходов на 65% и на 66% объёмы утрачиваемой недвижимости. Расчёты также показывают, что повышение критериев эвакуации до 50 мЗв за первый год, допустимое в рамках рекомендуемых МКРЗ 103 уровней, позволили бы снизить и численность эвакуированных и основные экономические потери до 6% от фактических. При этом максимальная пожизненная (в данном случае за 70 лет) доза для не эвакуированных жителей при 20 мЗв критерии не превысила бы 300 мЗв, а при 50 мЗв критерии – 730 мЗв. Само по себе смягчение критериев эвакуации с 20 до 50 мЗв также почти в 6 раз позволяет снизить затраты и сопутствующие ущербы от эвакуации.

Таблица 5

Социально-экономические параметры зон префектуры Фукусима, выделенных по расчётному уровню индивидуальной дозы внешнего гамма-облучения за 1-й год эвакуации

Доза за 1-й год, мЗв	Площади, км ²	Население, чел.	Домохозяйства	Доход, млн долл. США/год	Товарное производство, млн долл. США/год	Стоимость недвижимости, млн долл. США/год	Макс. инд. доза для неэвакуированных за 70 лет, мЗв	Средн. инд. доза для неэвакуированных за 70 лет, мЗв
Зона обязательной эвакуации 2011 г.	1 126	86 591	28 963	6 906,4	1 357,1	3 244,2	140	—
>20	84,2	27 857	9 594	2 432,6	442,2	1 097,1	291	88
>30	55,7	14 424	4 941	1 408,2	280,5	521,8	437	110
>40	34,7	7 426	2 463	703,6	151,7	286,4	583	131
>50	22,2	4 376	1 358	402,1	87,7	186,2	728	151
>70	7,8	1 109	323	90,3	20,3	59,6	1 020	184
>80	5,1	475	142	33,2	9,0	22,5	1 165	195

Расчёты по критерию 100 мЗв не были представлены, так как границы данной зоны приближались к наиболее загрязнённым территориям вблизи АЭС, откуда данные радиационного мониторинга в первую половину 2011 г. поступали очень ограниченно, в связи с чем велика вероятность ошибки при её определении.

Данное исследование продемонстрировало, что допустимая в рамках существующих норм коррекция дозового критерия или изменение подхода к оценке ожидаемой дозы облучения для населения позволяет в разы сократить сопутствующий социальный и экономический ущерб при эвакуации населения без критического увеличения радиационного риска для населения.

Заключение

В ходе исследования последствий радиационной аварии 2011 г. в Японии на АЭС «Фукусима-1» была разработана информационная система, включающая в себя данные по землепользованию, демографии, экономике, радиационной обстановке и проводимым мероприятиям по защите населения для территории префектуры Фукусима, собранные из официальных открытых источников. С её помощью в 2017 г. были проведены расчёты численности населения, площадей загрязнённых территории и затронутых экономических ресурсов для официальных зон эвакуации и отселения населения. Были получены оценки прямых экономических затрат государства и сопутствующего ущерба, вызванного непосредственно радиационным загрязнением территорий и масштабными мероприятиями, приведшими к социально-экономическим изменениям на пострадавших территориях. Были рассчитаны ожидаемые индивидуальные и коллективные дозы облучения населения для рассматриваемых территорий, а также дозы, предотвращённые за счёт эвакуации.

Рассмотрены альтернативные варианты проведения эвакуации в префектуре Фукусима на основании менее жёстких дозовых критериев, допустимых в рамках соответствующих рекомендаций МКРЗ 103. Выявлено, что допустимое в рамках существующих нормативов смягчение критериев формирования зоны эвакуации может значительно сократить масштабы и сопутствующий экономический ущерб от эвакуации без критического увеличения радиационного риска для населения.

Литература

1. The Fukushima Daiichi accident. Technical Volume 5/5: Post-accident recovery. Vienna: IAEA. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/AdditionalVolumes/P1710/Pub1710-TV5-Web.pdf> (дата обращения 09.09.2018).
2. Records of Applications and Payouts for compensation of Nuclear Damage. Tokyo Electric Power Company (TEPCO), Japan. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tepco.co.jp/en/comp/images/jisseki-e.pdf> (дата обращения 09.09.2018).
3. **Арон Д.В., Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Панченко С.В., Токарчук Д.Н.** Анализ влияния радиационных критериев эвакуации населения на социально-экономические последствия аварии на АЭС в префектуре Фукусима (Япония) //Атомная энергия. 2012. Т. 112, № 3. С. 163-168.
4. **Арон Д.В., Павлова М.В., Панченко С.В.** Оценки масштаба социально-экономических последствий аварии на АЭС в префектуре Фукусима //Известия Российской академии наук. Энергетика. 2013. № 5. С. 65-71.
5. **Арон Д.В.** Анализ последствий эвакуации населения при аварии на АЭС «Фукусима-1» //Экономика природопользования. 2015. № 3. С. 122-131.
6. Официальный интернет-ресурс Бюро статистики Японии. Statistics Bureau of Japan, Ministry of Internal Affairs and Communications. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stat.go.jp/english> (дата обращения 07.05.2018).
7. Официальный интернет-ресурс Министерства охраны окружающей среды Японии. Раздел с актуальной информацией о ходе дезактивации на территории Японии. Ministry of the Environment, Government of Japan. Environmental remediation, Decontamination. [Электронный ресурс]. URL: <http://josen.env.go.jp/en/decontamination> (дата обращения 07.05.2018).
8. Данные мониторинга радиационной обстановки окружающей среды. Monitoring information of environmental radioactivity level. Официальный интернет-ресурс Агентства по ядерному регулированию, Япония. [Электронный ресурс]. URL: <http://radioactivity.nsr.go.jp/map/ja/> (дата обращения 07.05.2018).
9. ДВ-98. Руководство по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу. Том 1, 2. Москва: Госкомэкология России, Минатом России, 1999.
10. **Панченко С.В., Аракелян А.А., Гаврилина Е.А., Шведов А.М.** Динамика параметров радиационной обстановки в сельском населённом пункте, загрязнённом цезием-137 в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции в апреле 1986 года //Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2016. Т. 61, № 4. С. 5-18.
11. Финансовая помощь от корпорации по компенсации ядерного ущерба и содействию снятию с эксплуатации. Пресс-релиз компании TEPCO от 22.05.2018. [Электронный ресурс]. URL: http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2018/1482322_15409.html (дата обращения 16.04.2018).
12. Decontamination Projects for Radioactive Contamination Discharged by Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. Editorial Committee for the Paper on Decontamination Projects, Ministry of the Environment (Japan, 2018). [Электронный ресурс]. URL: http://josen.env.go.jp/en/policy_document/pdf/decontamination_report1807_01.pdf (дата обращения 23.09.2018).
13. Япония удвоила сумму расходов для ликвидации последствий аварии на Фукусиме. Информационное агентство РЕГНУМ, 09.12.2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://regnum.ru/news/society/2215488.html> (дата обращения 07.05.2018).

14. Decontamination Report. A Compilation of Experiences to Date on Decontamination for the Living Environment Conducted by the Ministry of the Environment (Tentative Translation), March 2015. Ministry of the Environment Japan. [Электронный ресурс]. URL: http://josen.env.go.jp/en/policy_document/pdf/decontamination_report1503_full.pdf (дата обращения 05.03.2018).
15. Публикация 103 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ): пер. с англ. /Под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 312 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.icrp.org/docs/P103_Russian.pdf (дата обращения 20.10.2018).

Development of information system to analyse the consequences of radiation accidents

Aron D.V.

Nuclear Safety Institute of the RAS, Moscow

In relation to the need to assess the social and economic consequences of large-scale evacuation in the accident at the Fukushima-1 nuclear power plant in Japan, it is necessary to make appropriate independent calculations based on open-access socio-economic and radiation situation data of the affected areas. An information system was specifically developed to process a substantial amount of data which was accumulated during the period 2011-2017 on the population, territory and radiation situation in Japan. The system was used for assessment of population, affected land areas and economic resources in the official zones of evacuation and resettlement. The assessments of direct economic damage caused by territory contamination and large-scale evacuation measures were considered. The expected individual and collective radiation doses to the population and the doses prevented by the protective measures have been also calculated. Alternative evacuation scenarios based on milder dose criteria were considered and estimates of possible savings in the implementation of these criteria were obtained.

Key words: *radiation accident, protection of population, evacuation, resettlement, information system, socio-economic consequences, economic damage, radiation exposure dose, radiation risk, compensations.*

References

1. The Fukushima Daiichi accident. Technical Volume 5/5: Post-accident recovery. Vienna, IAEA, 2015. Available at: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/AdditionalVolumes/P1710/Pub1710-TV5-Web.pdf> (Accessed 09.09.2018).
2. Records of Applications and Payouts for compensation of Nuclear Damage. Tokyo Electric Power Company (TEPCO), Japan. Available at: <http://www.tepco.co.jp/en/comp/images/jisseki-e.pdf> (Accessed 09.09.2018).
3. **Aron D.V., Arutyunyan R.V., Bolshov L.A., Panchenko S.V., Tokarchuk D.N.** Analysis of the effect of radiation criteria for population evacuation on the socioeconomic consequences of the NPP accident in Fukushima Prefecture (Japan). *Atomnaya e`nergiya – Atomic Energy*, 2012, vol. 112, no. 3, pp. 163-168. (In Russian).
4. **Aron D.V., Pavlova M.V., Panchenko S.V.** Scale estimates of the social and economic consequences at the NPP accident in Fukushima Prefecture. *Byulleten` RAN. E`nergetika – Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Energetics*, 2013, no. 5, pp. 65-71. (In Russian).
5. **Aron D.V.** Analysis of the impact evacuation during emergencies at Nuclear Power Plants "Fukushima-1". *E`konomika prirodopol`zovaniya – Nature Management Economics*, 2015, no. 3, pp. 122-131. (In Russian).

Aron D.V. – Researcher. IBRAE RAN.

Contacts: 52 Bolshaya Tulkaya str., Moscow, Russia, 115191. Tel.: +7 (495) 276-20-00+466; e-mail: aron@ibrae.ac.ru.

6. Statistics Bureau of Japan, Ministry of Internal Affairs and Communications. Available at: <http://www.stat.go.jp/english> (Accessed 07.05.2018).
7. Environmental remediation. Ministry of the Environment, Government of Japan. Available at: <http://josen.env.go.jp/en/decontamination> (Accessed 07.05.2018).
8. Monitoring information of environmental radioactivity level. Nuclear Regulation Authority, Japan. Available at: <http://radioactivity.nsr.go.jp/map/ja/> (Accessed 07.05.2018).
9. DV-98. Rukovodstvo po ustanovleniyu dopustimyykh vybrosov radioaktivnykh veshchestv v atmosferu [Guidance on the establishment of permissible emissions of radioactive substances into the atmosphere]. Vol. 1, 2. Moscow, Goskomekologiya Rossii, Minatom Rossii, 1999.
10. **Panchenko S.V., Gavrilina E.A., Shvedov A.M., Arakelyan A.A.** Dynamic of radiological situation in the rural settlements contaminated by cesium-137 caused by the Chernobyl accident in April 1986. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' – Medical Radiology and Radiation Safety*, 2016, vol. 61, no. 4, pp. 5-18. (In Russian).
11. Financial Assistance from the Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation. TEPCO. Press Release (May 22, 2018). Available at: http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2018/1482322_15409.html (Accessed 16.04.2018).
12. Decontamination Projects for Radioactive Contamination Discharged by Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. Editorial Committee for the Paper on Decontamination Projects, Ministry of the Environment (Japan, 2018). Available at: http://josen.env.go.jp/en/policy_document/pdf/decontamination_report1807_01.pdf (Accessed 23.09.2018).
13. Japan doubled the cost of the Fukushima disaster. News Agency Regnum, 09.12.2016. Available at: <https://regnum.ru/news/society/2215488.html> (Accessed 07.05.2018).
14. Decontamination Report. A Compilation of Experiences to Date on Decontamination for the Living Environment Conducted by the Ministry of the Environment (Tentative Translation). March 2015. Ministry of the Environment. Available at: http://josen.env.go.jp/en/policy_document/pdf/decontamination_report1503_full.pdf (Accessed 05.03.2018).
15. ICRP, 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 103. *Ann. ICRP*, 2007, vol. 37, no. 2-4. 332 p.