

Радиологические последствия и уроки радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1»

Г.Г. Онищенко^{1,4}, А.Ю. Попова^{2,5}, И.К. Романович³

¹ Российская академия наук, Москва, Россия

² Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

³ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия

⁵ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

С момента аварии на Чернобыльской АЭС прошло 35 лет, аварии на АЭС «Фукусима-1» – 10 лет. До настоящего времени в Беларуси, Российской Федерации, Украине и Японии продолжают работы по ликвидации последствий двух самых масштабных радиационных катастроф современности. Выбросы радиологически значимых радионуклидов в результате аварии на Чернобыльской АЭС составили около 14 эксаБеккерель, что на порядок больше, чем из 3 аварийных энергоблоков АЭС «Фукусима-1». Значительно меньший выброс и осаждение около 80% выброшенных в атмосферу радионуклидов на поверхность Тихого океана обусловили в сотни раз меньшие площади радиоактивного загрязнения территории Японии, чем территорий бывшего СССР и соседних стран после аварии на Чернобыльской АЭС. Коллективная доза облучения населения от последствий чернобыльской аварии в сотни раз больше, чем доза облучения населения Японии после аварии на АЭС «Фукусима-1». Не ожидается достоверно определяемых статистическими методами отдаленных медицинских последствий для всех категорий населения Японии, получивших дополнительные дозы техногенного облучения в результате аварии на АЭС «Фукусима-1». В результате аварии на Чернобыльской АЭС у 134 участников аварийных работ развилась лучевая болезнь. У ликвидаторов, получивших дозы более 150 мЗв, установлено увеличение радиационно-обусловленной заболеваемости лейкозом и всеми типами солидных раков. Среди лиц, бывших детьми или подростками в период облучения после аварии на Чернобыльской АЭС и проживающих на территории Беларуси, Украины и четырех наиболее радиоактивно загрязненных областей Российской Федерации, уровень заболеваемости раком щитовидной железы вырос в десятки раз по сравнению с доаварийными уровнями. Уроками радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» являются просчеты в проектировании АЭС и отсутствие реагирования при выявлении этих просчетов, невыполнение своевременно и в полном объеме йодной профилактики, неоправданное переселение жителей радиоактивно загрязненных территорий спустя несколько лет после аварии.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, авария на АЭС «Фукусима-1», радионуклиды, плотность радиоактивного загрязнения, дозы облучения, медицинские последствия, рак щитовидной железы.

Введение

2021 г. – год 35-летия чернобыльской трагедии и 10-летия аварии на АЭС «Фукусима-1». Стало традицией к круглым датам двух самых крупных радиационных аварий подводить итоги, анализировать и оценивать мероприятия, проведенные для смягчения их последствий, фиксировать научные достижения [1–7]. Целью данной

статьи является сравнительная оценка радиологических последствий и анализ уроков радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» с гигиенической точки зрения.

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1986 г., является самой масштабной радиационной катастрофой в мире. Она стала причиной радиоактивного загрязнения обширных территорий европейской

Романович Иван Константинович

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

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: I.Romanovich@niir.ru

части СССР и пограничных государств. В Российской Федерации наиболее высоким уровням радиоактивного загрязнения подверглись Брянская, Калужская, Орловская и Тульская области. В юго-западных районах Брянской области плотность загрязнения почвы ^{137}Cs превышала 40 Ки/км^2 (1480 кБк/м^2). Как на площадке Чернобыльской АЭС, так и за ее пределами потребовалось проведение срочного вмешательства государственного масштаба с привлечением всех возможных средств и сил с целью предупреждения и снижения радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды, негативных последствий воздействия ионизирующего излучения на здоровье населения [1–4, 6, 7].

Предпринятые долговременные меры защиты в совокупности со значительным снижением плотности радиоактивного загрязнения за счет естественных процессов (распад радионуклидов, фиксация и вертикальная миграция в глубину почвы) привели к существенному снижению техногенных доз облучения населения. На 2020 г., по данным ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, только в 121 населенном пункте Брянской области из 3855, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения в 14 субъектах Российской Федерации, средняя годовая эффективная доза облучения превышает 1 мЗв , из них в 2 населенных пунктах превышает 5 мЗв . В 3734 населенных пунктах, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, средняя годовая эффективная доза облучения равна или менее 1 мЗв [8, 9]. Практически на протяжении последних 10 лет идет планомерная работа как на федеральном, так и на местном уровне по налаживанию нормальной жизнедеятельности населения, проживающего на территориях, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения [8, 9].

Авария на АЭС «Фукусима-1» в Японии, произошедшая 11 марта 2011 г., также потребовала срочного вмешательства на государственном уровне для предупреждения развития аварии, смягчения ее последствий. В результате выброса радионуклидов в атмосферу радиоактивному загрязнению подверглись территории префектуры Фукусима и соседних префектур. Сбросы радиоактивных веществ в воды Тихого океана привели к радиоактивному загрязнению акватории порта Фукусима. За 10 лет, прошедших с момента аварии на АЭС «Фукусима-1», в Японии выполнен значительный объем работ по предупреждению попадания радиоактивной воды в океан – установлены барьеры и системы очистки жидких радиоактивных отходов. На большей части территории, загрязненной радионуклидами, проведены реабилитационные работы. В настоящее время продолжается борьба с утечками радиоактивной воды с аварийных реакторов, выполняются дезактивационные работы в 20-километровой зоне вокруг АЭС [10–13].

Считаем, что сохранение уникального опыта аварийного реагирования, подходов и практической реализации восстановления (реабилитации) радиоактивно загрязненных в результате аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» территорий является актуальной задачей, а ценность этого опыта с течением времени будет только возрастать.

Причины аварий

Анализ причин двух самых масштабных радиационных катастроф современности, какими являются авария

на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», свидетельствует о том, что они стали результатом просчетов в проектировании, самонадеянной уверенности руководителей атомных отраслей и высших эшелонов власти стран в невозможности запроектных аварий и, как следствие, отсутствия должного реагирования при выявлении просчетов [6, 7, 11, 12, 14–18]. Так, в первых публикациях и официальных отчетах указывалось, что причиной аварии на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС является маловероятное сочетание нарушений режима и порядка эксплуатации энергоблока. Однако аварии на 1-м энергоблоке Ленинградской АЭС в 1975 г. и на первом блоке Чернобыльской АЭС в 1982 г. стали предшественниками чернобыльской катастрофы 1986 г. В результате указанных аварий были выявлены серьезные недостатки в эксплуатационных характеристиках энергоблоков РБМК. К сожалению, они не послужили поводом для коренного усовершенствования конструкции энергоблоков. Характер и причины аварий были засекречены, не доводились до персонала других АЭС этого же типа, не учитывались в планах и инструкциях по проведению тренировок [7, 11, 14–17]. Немаловажную роль сыграло и то обстоятельство, что к 1980-м гг. у руководства атомной отрасли и советского государства сформировалась уверенность в невозможности серьезных аварий на атомных реакторах страны [7, 11].

Изучение причин аварии на АЭС «Фукусима-1» показало, что просчеты в проектировании и непринятие действенных мер по повышению защищенности энергоблоков при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера привели и к фукусимской катастрофе. Первым просчетом является недостаточная высота размещения станции над уровнем моря. Первоначально участок под строительство АЭС был выше уровня моря примерно на 35 м, но его понизили до 10 м. Во-вторых, почти все дизель-генераторы, баки с топливом и электрощиты резервного электроснабжения станции были размещены на первых этажах энергоблоков или в цокольных этажах [11, 18]. В 1991 г. на первом энергоблоке АЭС «Фукусима-1» возникла утечка воды, которая проникла в помещение системы аварийного энергоснабжения реактора, вызвав ряд замыканий, выявив незащищенность от затопления дизель-генераторов и распределительных устройств, размещенных в цокольном этаже. Однако кардинальных мер по защите резервного энергоснабжения АЭС «Фукусима-1» предпринято не было [11, 12, 18]. Следует отметить, что компанией TEPCO, обслуживающей АЭС «Фукусима-1», начиная с 2002 г., был проведен ряд расчетов для сценария возникновения в море у побережья префектуры Фукусима землетрясения магнитудой 8,3 балла, которое могло привести к возникновению цунами высотой около 15 м. Уверенность в том, что конструкция АЭС «Фукусима-1», как и всех АЭС Японии, и предусматриваемые меры безопасности являются достаточно надежными и позволяют станциям выдерживать воздействие маловероятных внешних событий, привела к ситуации, когда оперативное внедрение усовершенствований в области безопасности не обеспечивалось [11, 12, 18].

Недооценка маловероятных событий и уверенность в надежности станции привели к тому, что мощное землетрясение в океане вызвало цунами, максимальная высота

волны которого превысила 13 м, а затопление береговой части станции достигало высоты в 7 м. Сначала волна цунами, а затем и обратный отток воды смыли или затопили большинство дизель-генераторов, баков с топливом, вывели из строя электропитательное оборудование. Отсутствие электроснабжения, в том числе и резервного, вывело из строя систему охлаждения 1-го, 2-го и 3-го энергоблоков АЭС «Фукусима-1», что привело к расплавлению ядерного топлива, разгерметизации реакторов и значительному выбросу техногенных радионуклидов в атмосферу, сбросу высокоактивных жидких радиоактивных отходов в океан [11, 12, 18].

После аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» были пересмотрены требования к безопасности ядерных реакторов, сконструированы и вводятся в эксплуатацию ядерные реакторы новых поколений, однако, от ошибок никто не застрахован. Недостаточное внимание к выявленным просчетам в надежности и безопасности объектов ядерной энергетики в прошлом должно стать уроком для нынешних и будущих поколений. Аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» показали, что радиоэкологические, медицинские и социально-психологические последствия этих катастроф не сравнимы с затратами по устранению выявленных недочетов.

Выбросы из аварийных реакторов

По данным, представленным в научных отчетах международных организаций и публикациях, из разрушенного реактора Чернобыльской АЭС было выброшено около 14 эксаБеккерель (14×10^{18} Бк) различных радионуклидов [1–4, 6–7, 11]. Наиболее радиологически важными радионуклидами являлись ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs , за счет которых формировались дозы облучения населения. Из 3 аварийных реакторов АЭС «Фукусима-1» было выброшено в атмосферу и сброшено в Тихий океан примерно в 14 раз меньше ^{131}I и примерно в 9 раз меньше ^{137}Cs , однако было выброшено больше радиоактивных благородных газов (табл. 1) [10–12, 18, 19]. Следует также указать, что из аварийного реактора Чернобыльской АЭС в значительных количествах были выброшены в атмосферу радионуклиды с промежуточной летучестью (^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{140}Ba) и тугоплавкие радионуклиды, включая топливные

частицы (^{141}Ce , ^{144}Ce , $^{238-242}\text{Pu}$) [2–4, 6–7].

В результате аварии на Чернобыльской АЭС площадь радиоактивного загрязнения территории Европы радионуклидами ^{137}Cs свыше 37 кБк/м² (1 Кюри/км²) составила более 200 тысяч км², из них около 140 тысяч км² – это территория Беларуси, России и Украины [1–4, 7]. Площадь радиоактивного загрязнения ^{137}Cs территории Японии в результате аварии на АЭС «Фукусима-1» свыше 37 кБк/м² (1 Кюри/км²) составила около 1200 км², не считая прибрежной акватории [10–12, 18, 19]. Следовательно, масштабы радиоактивного загрязнения территории Японии после аварии на АЭС «Фукусима-1» оказались на два порядка меньше, чем после аварии на Чернобыльской АЭС в бывшем СССР и Европе. Такая значительная разница в масштабах радиоактивного загрязнения территорий связана как с объемом выбросов, так и с тем, что преобладающая часть (около 80%) выброшенных в атмосферу в результате аварии на АЭС «Фукусима-1» радионуклидов осела на поверхность Тихого океана и была исключена как источник облучения населения [10–11, 18, 19].

Применение срочных мер защиты населения

В случае крупномасштабной аварии на ядерной энергетической установке применяются срочные меры защиты населения от переоблучения: эвакуация, переселение и укрытие, йодная профилактика, запрет и ограничение потребления радиоактивно загрязненных пищевых продуктов.

27 апреля 1986 г., на второй день после аварии на Чернобыльской АЭС, были эвакуированы 50 тысяч жителей г. Припять и 254 человека с железнодорожной станции Янов. Спустя 3 дня эвакуированы 226 человек из села Бураковка, а в первые дни мая 1986 г. – 50 тысяч жителей 30-километровой зоны. Еще около 240 тысяч человек эвакуированы или переселены в более поздние сроки – в течение 1986–1991 гг. [1–4, 6, 7, 11].

В отличие от аварии на Чернобыльской АЭС, на которой авария произошла мгновенно, авария на АЭС «Фукусима-1» развивалась постепенно, от начала отключения электроснабжения до первых выбросов радионуклидов в атмосферу прошло около суток. Развитие аварийной ситуации позволило правительству Японии

Таблица 1

Данные о выбросах радиологически значимых радионуклидов в атмосферу вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» [2–4, 6–7, 10–12, 18, 19]

[Table 1]

Data on the releases of the radiologically significant radionuclides in the atmosphere due to the Chernobyl NPP and "Fukushima-1" NPP accidents]

Радионуклид [Radionuclide]	$T_{1/2}$, сут [$T_{1/2}$, days]	Суммарный выброс вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, ПБк [Total release due to the Chernobyl NPP accident, PBq]	Суммарный выброс вследствие аварии на АЭС «Фукусима-1», ПБк [Total release due to the "Fukushima-1" NPP accident, PBq]
^{132}Te	3,2	≈ 1150	29
^{131}I	8,0	≈ 1760	124
^{133}I	0,87	910	10
^{133}Xe	5,25	6500	7300
^{134}Cs	754	≈ 47	9
^{136}Cs	13,2	36	1,8
^{137}Cs	11010	≈ 85	9

принять решение о превентивной эвакуации. В течение 11–15 марта 2011 г. из населенных пунктов в радиусе 20 км от АЭС «Фукусима-1» было эвакуировано более 78 тысяч человек. Однако эвакуация, в том числе и добровольная, продолжалась и после формирования зоны высокого радиоактивного загрязнения. Правительство Японии приняло решение установить критерий для эвакуации населения с радиоактивно загрязненных территорий – превышение прогнозируемой дозы облучения в 20 мЗв за первый год проживания. Всего, по разным источникам, после аварии на АЭС «Фукусима-1» было эвакуировано от 100 тысяч до 165 тысяч человек. По состоянию на 2018 г. около 100 тысяч человек имели статус эвакуированных и проживали во временных пунктах эвакуации [10–12, 18, 19].

К отрицательному опыту в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС необходимо отнести переселение около 55 тысяч человек из 35 населенных пунктов Брянской области в 1990–1991 гг. [1–3, 20, 21]. Данное переселение не имело радиационно-гигиенического обоснования, т.к. 70% ожидаемой дозы к этому времени уже сформировалось. Кроме того, в 1989 г. в этих населенных пунктах была проведена дезактивация, что снизило дозу внешнего облучения населения примерно на 20%. Фактическая средняя годовая эффективная доза внешнего облучения населения не превышала 5 мЗв/год, однако по плотности радиоактивного загрязнения населенные пункты находились в зоне отселения и с правом на отселение. Установлено, что переселение сопровождается материальными потерями, утратой социальных связей, работы и социального статуса, т.е. является сильным стрессом, что в дальнейшем приводит к увеличению неврологической и сердечно-сосудистой патологии [1–7, 21].

МКРЗ в Публикации 103 [22] и МАГАТЭ в Основном стандарте безопасности [23] рекомендуют национальным регулирующим органам устанавливать критерий для эвакуации и переселения в диапазоне 20–100 мЗв в год прогнозируемой дозы. Установление более низких значений критерия для эвакуации и переселения населения в случае радиационной аварии считаются не оправданными по экономическим и социально-психологическим последствиям.

Своевременная йодная профилактика (блокирование щитовидной железы препаратами стабильного йода) после аварии на Чернобыльской АЭС была проведена лишь в г. Припять, где до момента эвакуации более 60% жителей приняли препараты стабильного йода. В других населенных пунктах, как 30-километровой зоны вокруг аварийной АЭС, так и за ее пределами, йодная профилактика проведена не была [1–4, 6, 7].

После аварии на АЭС «Фукусима-1» своевременная и координированная йодная профилактика также проведена не была. На части территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, местные органы распространяли таблетки стабильного йода, но не настаивали на их употреблении, в то время как другие распространяли таблетки и советовали их принимать, а третьи ждали указаний от правительства страны. Своевременных указаний от японских властей о начале проведения йодной профилактики не поступало [11, 12].

Отсутствие йодной профилактики в совокупности с

несвоевременным запретом на выпас скота и потребление молока местного производства населением радиоактивно загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС территорий привело к высоким дозам облучения на щитовидную железу и, как следствие, к статистически достоверному увеличению заболеваемости раком щитовидной железы у той части жителей, которым на момент облучения было менее 18 лет [1–7].

По состоянию на апрель 1986 г. в СССР действовал целый ряд документов, разработанных в Ленинградском НИИ радиационной гигиены, регламентирующих аварийное реагирование, в том числе и йодную профилактику [24–26]. К сожалению, местные органы власти этими документами не владели, и к тому же в первые дни на территориях отсутствовала информация об уровнях радиоактивного загрязнения. Распоряжение о проведении йодной профилактики по линии Минздрава было дано только 23 мая 1986 г., когда дозы облучения на щитовидную железу уже сформировались [1–4].

Причинами, почему в Японии не была проведена своевременная и скоординированная йодная профилактика после аварии на АЭС «Фукусима-1», назывались недостаточная предварительная регламентация, серьезные проблемы со связью и отчасти сложности с активизацией кризисного центра [11, 12]. Так, критерии проведения йодной профилактики в японских регламентирующих документах основывались на прогнозируемой дозе, а не на основе измеряемых величин, и местные органы власти, не имея данных о прогнозируемых дозах облучения на щитовидную железу, не могли принять правильное и своевременное решение [11, 12]. Как следствие, среди рекомендаций МАГАТЭ, вышедших на основе анализа аварийного реагирования и проведения защитных мероприятий среди населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на АЭС «Фукусима-1», указано на необходимость выработки дозовых и оперативных критериев (уровней поддающихся измерению величин), используемых для принятия экстренных защитных мер и других мер реагирования, в том числе мер в отношении особых групп населения в аварийных зонах [12].

Ограничения на потребление пищевых продуктов с высоким содержанием радионуклидов является основной мерой снижения внутреннего облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Гигиеническое нормирование пищевых продуктов после аварии на Чернобыльской АЭС было введено с 6 мая 1986 г. с принятия временных допустимых уровней (ВДУ) содержания ^{131}I в молоке и некоторых продуктах питания. Этот документ стал основанием для организации и проведения выбраковки и изъятия из употребления загрязненных пищевых продуктов. С 30 мая 1986 г. были введены временные допустимые уровни загрязнения основных видов продовольственного сырья и пищевых продуктов радиоактивным цезием (ВДУ-86). По мере изменения радиационной обстановки и составления прогноза ее развития гигиенические нормативы (ВДУ) перерабатывались и ужесточались 5 раз (табл. 2) [1–3]. В дальнейшем допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах устанавливались санитарными правилами [27], а в настоящее время «Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к

товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому контролю» комиссии Таможенного союза [28].

В Японии для контроля радионуклидов в пищевых продуктах и бракеража были ранее (до 2011 г.) приняты критерии содержания радионуклидов в пищевых продуктах из расчета непревышения внутреннего облучения в 5 мЗв/год. Эти критерии и применяли в Японии после аварии на АЭС «Фукусима-1». С 1 апреля 2012 г. под давлением общественности критерии были значительно ужесточены. Новые критерии устанавливали концентрации активности для радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде на основе эффективной дозы 1 мЗв в год (табл. 3). Вследствие этого данные показатели оказались

гораздо ниже временных нормативных показателей, которые они заменили [29].

Установленные в 2012 г. Правительством Японии критерии ограничения потребления пищевых продуктов по радиологическим показателям действуют до настоящего времени, и эти критерии для некоторых видов пищевых продуктов даже более жесткие, чем действующие на территории Российской Федерации критерии, установленные «Едиными санитарно-эпидемиологическими и гигиеническими требованиями к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому контролю» комиссии Таможенного союза [28].

Таблица 2

Временные допустимые уровни (ВДУ) загрязнения радиоактивным цезием основных видов продовольственного сырья и пищевых продуктов, Бк/кг (Бк/л) [1–3]

[Table 2]

Temporal permissible levels (TPL) of the radioactive contamination with cesium of the main types of food stock and food products Bq/kg (Bq/l) [1–3]

Наименование продукта или группы продуктов [Type of food product or product group]	ВДУ-86 [TPL-86] (30.05.86)	ВДУ-87 [TPL-87] (15.12.87)	ВДУ-88 [TPL-88] (06.10.88)	ВДУ-91 [TPL-91] (22.01.91)	ВДУ-93 [TPL-93] (21.07.93)
Вода питьевая [Drinking water]	370	18,5	18,5	18,5	18,5
Молоко [Milk]	370	370	370	370	370
Мясо и мясопродукты [Meat and meat products]	3700	1850	1850	740	600
Рыба [Fish]	3700	1850	1850	740	600
Овощи [Vegetables]	3700	740	740	600	600
Ягоды дикорастущие [Wild berries]	–	–	–	1480	600
Грибы [Mushrooms]	18500	740	740	1480	600
Грибы сушеные [Dried mushrooms]	–	11000	11000	7400	600
Детское питание [Baby food]	–	370	370	185	185

Таблица 3

Критерии ограничения потребления пищевых продуктов в Японии после аварии на АЭС «Фукусима-1» [29] и Таможенного союза [28], Бк/кг (Бк/л)

[Table 3]

Criteria of the limitation of the consumption of food products in Japan after the «Fukushima-1» NPP accident [29] and Customs Union members [28], Bq/kg (Bq/l)

Категория пищи, напитков [Food and drink type]	Критерии 2011 г. [2011 criteria]		Критерии 2012 г. [2012 criteria]	Критерии Таможенного союза [Customs Union criteria]
	I-131	Cs-134, Cs-137	Cs-134, Cs-137	Cs-137
Питьевая вода [Drinking water]	300	200	10	–
Молоко и молочные продукты [Milk and milk products]	300	200	50 (кроме йогурта) [Except for yoghurt]	100

Категория пищи, напитков [Food and drink type]	Критерии 2011 г. [2011 criteria]		Критерии 2012 г. [2012 criteria]	Критерии Таможенного союза [Customs Union criteria]
	I-131	Cs-134, Cs-137	Cs-134, Cs-137	Cs-137
Овощи [Vegetables]	2000 (кроме корнеплодов и картофеля) [(except for root crops and potatoes)]	500	100	80
Мясо [Meat]	–	500	100	200
Рыба [Fish]	–	500	100	130
Детские продукты [Baby products]	–	–	50	40

Дозы облучения населения и участников ликвидации аварий

На территориях бывшего СССР, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС свыше 37 кБк/м² по ¹³⁷Cs, проживало более 6 миллионов человек, из них примерно 400 000 человек проживали на территориях с уровнем загрязнения ¹³⁷Cs свыше 555 кБк/м² [1–4, 21]. Средняя эффективная доза облучения эвакуированных весной и летом 1986 г. составила примерно 33 мЗв при максимуме в несколько сотен мЗв. У населения, проживавшего на радиоактивно загрязненных территориях, эффективные дозы облучения за первый год после аварии достигали 100 мЗв, однако для большинства населения не превышали 20 мЗв. Накопленные за период с 1986 по 2018 г. эффективные дозы облучения населения загрязненных территорий Беларуси, России и Украины составляют от 10 до 300 мЗв. Коллективная пожизненная эффективная доза облучения населения от последствий чернобыльской аварии, по данным НКДАР ООН за 2008 г., в Европе (включая Российскую Федерацию, Республику Беларусь и Украину) оценена в 400 тыс. чел.-Зв. Средняя поглощенная доза на щитовидную железу для жителей бывшего СССР составляла примерно 100 мГр, для 0,7% из них – превышала 1000 мГр [1–4, 21].

Эффективные дозы внешнего облучения населения Японии, проживавшего на территориях префектуры Фукусима, подвергшихся наиболее высоким уровням радиоактивного загрязнения после аварии на АЭС «Фукусима-1», за первый год после аварии составили около 10 мЗв; на остальных радиоактивно загрязненных территориях дозы облучения были значительно ниже. Для этих же категорий населения поглощенная доза облучения на щитовидную железу составила: для взрослого населения до 35 мГр, для детей и младенцев в 2–3 раза выше. Прогнозируемая коллективная пожизненная эффективная доза населения Японии составит около 50 тыс. чел.-Зв [10, 11, 30].

В ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986–1990 гг. приняла участие более 600 тыс. человек, из них около 300 тыс. человек – это ликвидаторы 1986–1987 гг. [2, 3, 5, 7, 11]. Средняя эффективная доза ликвидаторов аварии оценивается примерно в 120 мЗв,

коллективная эффективная доза – в 60 тыс. чел.-Зв. Наиболее высокие средние дозы облучения зарегистрированы у ликвидаторов 1986 г. участия – 155 мГр, около 5% ликвидаторов получили дозы свыше 250 мГр [2, 3, 5, 7, 11].

В ликвидации аварии на АЭС «Фукусима-1» до ноября 2012 г. приняли участие 24 832 человека. Средние эффективные дозы у 99,3% ликвидаторов составили около 10 мЗв, не превысив 100 мЗв. Группа из 174 ликвидаторов получила дозы свыше 100 мЗв, в среднем 130 мЗв. У 6 ликвидаторов зафиксировано превышение дозы в 250 мЗв. Коллективная эффективная доза всех ликвидаторов аварии на АЭС «Фукусима-1» оценивается примерно в 262 чел.-Зв [11, 12, 31, 32]. Из представленных данных следует, что в ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС участвовало в 25 раз больше ликвидаторов, чем на АЭС «Фукусима-1», а коллективная доза облучения, соответственно, больше на 3 порядка.

Медицинские последствия

У 134 человек, участвовавших в ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г., а это в основном пожарники, развилась лучевая болезнь. Из них 28 человек погибли в первые 4 месяца после облучения [5, 7, 33, 34]. У ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС 1986–1990 гг., получивших высокие дозы облучения, в первые 12 лет после аварии достоверно установлено увеличение радиационно-обусловленной заболеваемости лейкозом (величина атрибутивного риска 45–60%) и статистически значимое увеличение на 18% заболеваемости всеми типами солидных раков у лиц, получивших дозы более 150 мЗв [5, 7, 35–38].

После аварии на Чернобыльской АЭС в Беларуси, Украине и 4 наиболее пострадавших областях Российской Федерации (Брянской, Калужской, Орловской и Тульской) отмечается значительный рост заболеваемости раком щитовидной железы среди лиц, бывших детьми или подростками в период облучения. Общее количество случаев рака щитовидной железы, зарегистрированных на этих территориях в период с 1991 по 2015 г. среди лиц, которым на момент облучения в результате аварии на Чернобыльской АЭС было менее 18 лет, составило 19 233 случая. Наибольшее число случаев рака щитовидной железы зарегистрировано на Украине (11 489 случаев), да-

лее в Беларуси (5906 случаев), в 4 областях Российской Федерации выявлено 1838 случаев. Уровни заболеваемости раком щитовидной железы у лиц женского пола в 4 раза выше, чем у мужчин. Уровень заболеваемости раком щитовидной железы у лиц, которым на момент аварии было менее 18 лет, на Украине, в Беларуси и 4 наиболее радиоактивно загрязненных областях Российской Федерации вырос в десятки раз, по сравнению с доаварийными уровнями [5, 7, 21, 32, 39, 40, 41].

По другим отдельным классам онкологической заболеваемости и смертности (кроме рака щитовидной железы) у населения, проживающего на радиоактивно загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС территориях, статистически значимого повышенного риска не выявлено.

Для участников ликвидации последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» и населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, учитывая невысокий уровень доз облучения, пожизненный риск онкологических заболеваний, вызванных радиацией, помимо рака щитовидной железы, невысок и не будет выявлен эпидемиологическими исследованиями. Вероятно, возрастет пожизненный риск заболевания раком щитовидной железы только у детей, проживающих в двух наиболее пострадавших зонах префектуры Фукусима и подвергшихся облучению в младенческом возрасте [12, 30, 42].

Заключение

Сравнительный анализ суммарного выброса в атмосферу радиологически значимых радионуклидов показывает, что выбросы и сбросы с аварийных энергоблоков АЭС «Фукусима-1» уступают чернобыльским примерно на порядок величины. С учетом того, что около 80% выброшенных в атмосферу радионуклидов после аварии на АЭС «Фукусима-1» осели на поверхность Тихого океана, масштабы радиоактивного загрязнения территории Японии оказались в сотни раз меньше, чем территории бывшего СССР и соседних стран после аварии на Чернобыльской АЭС.

Несравнимо также количество участников ликвидации аварий, населения, подвергшегося дополнительному техногенному облучению, их дозы облучения и медицинские последствия. В ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС участвовало в 25 раз больше ликвидаторов, чем на АЭС «Фукусима-1», а коллективная доза облучения, соответственно, была больше в 230 раз. Коллективная пожизненная эффективная доза облучения населения от последствий чернобыльской аварии в десятки раз больше, чем дозы облучения населения Японии после аварии на АЭС «Фукусима-1». В результате аварии на АЭС «Фукусима-1» нет пострадавших с острой лучевой болезнью, а отдаленные медицинские последствия для всех категорий пострадавших не определяемы статистическими методами на достоверном уровне, за исключением лиц, подвергшихся облучению в младенческом возрасте. В результате аварии на Чернобыльской АЭС у 134 участников аварийных работ 26 апреля 1986 г. развилась лучевая болезнь. У ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС установлено увеличение радиационно обусловленной заболеваемости лейкозом и всеми типами солидных раков у лиц, получивших дозы более 150 мЗв. Среди лиц, бывших детьми или подростками в период облучения после аварии на Чернобыльской АЭС и проживающих на

территории Беларуси, Украины и 4 наиболее радиоактивно загрязненных областей Российской Федерации, заболеваемость раком щитовидной железы выросла в десятки раз, по сравнению с доаварийными уровнями.

К урокам радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1», которые нельзя забывать и необходимо учитывать в будущем, относятся: просчеты в проектировании АЭС и отсутствие реагирования при выявлении этих просчетов; не выполненное своевременно и в полном объеме блокирование щитовидной железы препаратами стабильного йода; неоправданное переселение жителей радиоактивно загрязненных территорий через несколько лет после аварии, когда годовые дозы стали ниже установленных пределов; значительное снижение по политическим и популистским мотивам критерия загрязнения территорий для целей зонирования (1991 г.), приведшее к многократному возрастанию количества жителей, проживающих в зоне радиоактивного загрязнения.

К основным урокам необходимо отнести готовность к аварийному реагированию, которая определяется наличием законодательной и нормативной базы, устанавливающей простые и понятные критерии принятия решений, наличие в достаточном количестве квалифицированных специалистов в области радиационной безопасности, обеспеченных современной аппаратурой радиационного контроля, готовой к немедленному использованию.

Литература

1. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2016. Т.1. 448 с.
2. Онищенко Г.Г. Чернобыль – 30 лет спустя. Радиационно-гигиенические и медицинские последствия аварии // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 2. С. 10–19.
3. Онищенко Г.Г. Радиационно-гигиенические и медицинские последствия чернобыльской аварии: итоги и прогноз // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4, № 2. С. 23–30.
4. Балон М.И. Международная оценка последствий чернобыльской аварии. Чернобыльский форум ООН (2003–2005) и НКДАР ООН (2005–2008) // Радиационная гигиена. 2011. Т.4, № 2. С. 131–139.
5. Медицинские радиологические последствия Чернобыля: прогноз и фактические данные спустя 30 лет / Под общ. ред. В.К. Иванова, А.Д. Каприна. М.: ГЕОС, 2015. 450 с.
6. Ильин Л.А. Реалии и мифы Чернобыля: Изд. 2-е, испр. и доп. М.: ALARA-Limited, 1996. 480 с.
7. Воронов С.И., Лутошкин А.В., Попова А.Ю., и др. Российский национальный доклад. 30 лет чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986–2016 / Под общ. ред. В.А. Пучкова и Л.А. Большова. МЧС России. 2016. 202 с.
8. Романович И.К., Брук Г.Я., Базюкин А.Б., и др. Динамика средних годовых и накопленных доз облучения взрослого населения Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 3 (324). С. 33–38. ISSN: 2219-5238e ISSN: 2619-0788.
9. Романович И.К., Брук Г.Я., Барковский А.Н., и др. Обоснование концепции перехода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 1. С. 6–18.
10. Романович И.К., Балон М.И., Барковский А.Н., и др. Авария на АЭС «Фукусима-1»: организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здо-

- рост населения Российской Федерации / Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2012. 336 с.
11. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Боровой А.А., Велихов Е.П. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» // Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. М.: 2018. 408 с.
 12. The Fukushima Daiichi accident: Report by the Director general. Vienna: Intern. Atomic Energy Agency, 2015. 209 p. (IAEA. GC(59)/14). URL: <http://www-pub.iaea.org> (Дата обращения: 24.02.2021)
 13. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., и др. О четвертой комплексной научной экспедиции по мониторингу радиационной обстановки в Курило-Камчатском регионе Тихого океана // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 1. С. 6–15.
 14. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия: Информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ: 25 – 29 августа 1986 г.: Вена: Части 1 и 2. М.: ГК ИАЭ СССР, 1986. 73 с.
 15. Асмолов В.Г., Боровой А.А., Демин В.Ф., и др. Авария на Чернобыльской АЭС: год спустя // Атомная энергия. 1988. Т. 64, вып. 1. С. 3 – 23.
 16. Анализ причин аварии на Чернобыльской АЭС путем математического моделирования физических процессов: отчет ВНИИАЭС: инв. № 864. 1987. 52 с.
 17. Ядрихинский А.А. Ядерная авария на 4 блоке Чернобыльской АЭС и ядерная безопасность реакторов РБМК: Инспекция Госпроатомнадзора на Курской АЭС. Курчатова, 1989. 47 с.
 18. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, A Comparison of US and Japanese Regulatory Requirements in Effect at the Time of the Fukushima Accident, NRC, Washington, DC. 2013.
 19. ICAFNPS. Final report and attachments. Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company on 28 November 2012. – URL: <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/final-report.html> (Дата обращения: 24.02.2021)
 20. Прошин А.Д., Степаненко П.А., Шапошникова Е.Н. Радиационно-экологическая обстановка на территории Брянской области за период с 1986 по 2000 годы // Последствия чернобыльской катастрофы. Здоровье населения Брянской области: сб. статей. Брянск: Читай-город, 2001. С. 10 – 18.
 21. Наследие Чернобыля: Медицинские, экологические и социально-экономические последствия и рекомендации правительствам Беларуси, Российской Федерации и Украины. Чернобыльский Форум: 2003–2005: изд. вт., справ. Вена: МАГАТЭ, 2006. 58 с.
 22. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ) / Пер с англ.; Под общ. ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 343 с.
 23. Международное агентство по атомной энергии. Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3. Вена: МАГАТЭ, 2014. 477 с.
 24. Временные методические указания для разработки мероприятий по защите населения в случае аварии ядерных реакторов / Утв. зам. гл. сан. врача СССР Лоранским Д.Н., 18.12.1970 г.; №872/1. М., 1971. 46 с.
 25. Дибобес И.К., Ильин Л.А., Константинов Ю.О., и др. Принятие неотложных решений о мерах защиты населения в случае аварийного радиоактивного выброса во внешнюю среду. Handling of radiation accidents. Proc. Symp., Vienna, 19–23 May 1969. IAEA, Vienna, 1969. P. 547–558.
 26. Константинов Ю.О. Критерии для принятия неотложных решений о мерах защиты населения в случае аварии на АЭС // Радиационная безопасность и защита АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1985. вып. 9. С. 148–152.
 27. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: ФГУП «ИнтерСЭН», 2002. С. 50–58.
 28. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому контролю (с изменениями на 15 января 2013 г.). Решение комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 г. № 299.
 29. MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE. New Standard Limits for Radionuclides in Foods. 2012. – URL: http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/new_standard.pdf (Дата обращения: 24.02.2021)
 30. Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2013 report. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1. Scientific Annex A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. United Nations, 2014. 321 p.
 31. TEPCO. Press release (Nov 30, 2011): Evaluation status of internal exposure dose of emergency workers. Tokyo Electric Power Company. on 11 April 2013. URL: (<http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11113013-e.html>) (Дата обращения: 24.02.2021)
 32. Balonov M. Health Effects of Reactor Accidents with Special Regards to Chernobyl – A Review Paper // Journal of the Physical Society of Japan. 2019. 54 (3), P. 161 – 171.
 33. Абегян А.А., Асмолов В.Г., Гуськова А.К., и др. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. 1986. Т. 61, вып. 5. С. 301–320.
 34. Гуськова А.К. Медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Основные итоги и нерешенные проблемы // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2010. Т. 55, № 3. С. 17–28.
 35. Иванов В.К., Хаит С.Е., Кашеев В.В., и др. Заболеваемость лейкозами участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС за период наблюдений с 1986 по 2007 гг. // Радиация и риск. 2010. Т. 19, № 2. С. 7–20.
 36. Иванов В.К., Карпенко С.В., Кашеев В.В., и др. Радиационные риски российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС за период 1992–2017 гг. Часть I: заболеваемость солидными раками // Радиация и риск. 2019. Том 28, № 4. С. 16–30.
 37. Иванов В.К., Карпенко С.В., Кашеев В.В. Радиационные риски российских участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС за период 1992–2017 гг. Часть II: смертность от солидных раков // Радиация и риск. 2020. Том 29, № 1. С. 18–31.
 38. Рожко А.В., Чешик А.А., Веялкин И.В., Никонович С.Н. Заболеваемость злокачественными новообразованиями крови и лимфатической системы у ликвидаторов катастрофы на ЧАЭС в Республике Беларусь // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. мед. наук. 2017. № 3. С. 82–90.
 39. UNSCEAR. Evaluation of data on Thyroid Cancer in Regions affected by the Chernobyl accident. A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. United Nations. New York, 2018. 30 p.
 40. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Максютков М.А., и др. Проблема рака щитовидной железы в России после аварии на Чернобыльской АЭС: оценка радиационных рисков, период наблюдения 1991–2008 гг. // Радиация и риск. 2010. Т. 19, № 3. С. 33–58.
 41. Последствия облучения для здоровья человека в результате чернобыльской аварии. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Научное приложение D к Докладу НКДАР ООН 2008 года Генеральной Ассамблеи. ООН. Нью-Йорк, 2012. 182 с.
 42. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation. World Health Organization, 2013. 172 p.

Поступила: 25.02.2021 г.

Онищенко Геннадий Григорьевич – доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук; заведующий кафедрой экологии человека и гигиены окружающей среды, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Попова Анна Юрьевна – доктор медицинских наук, профессор, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; заведующий кафедрой организации санитарно-эпидемиологической службы, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Санкт-Петербургского Научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: I.Romanovich@niirg.ru

Для цитирования: Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К. Радиологические последствия и уроки радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 1. С. 6-16. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-6-16

Radiological consequences and lessons of the Chernobyl NPP and «Fukushima-1» NPP radiation accidents

Gennadiy G. Onischenko ^{1,4}, Anna Yu. Popova ^{2,5}, Ivan K. Romanovich ³

¹ Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Federal Service of Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Moscow, Russia

³ 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

⁴ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁵ Russian Medical Academy of the Continuous Professional Education, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

35 years have passed since the Chernobyl NPP accident, 10 years — since the «Fukushima-1» NPP accident. At the present time extensive activities on the remediation of the consequences of two major large-scale radiation disasters are performed in the Belorussia, Russian Federation, Ukraine, and Japan. Releases of radiologically significant radionuclides after the Chernobyl NPP accident correspond to 14 exaBecquerel — higher up to an order of magnitude compared to 3 emergence power units of the «Fukushima-1» NPP. The significantly lower release rate and deposition of 80% of the radionuclides released into the atmosphere on the surface of the Pacific Ocean lead to lower up to several orders of magnitude radioactive contamination of the Japanese territory compared to the territories of the former USSR and neighboring countries after the Chernobyl NPP accident. Collective dose to the public due to the Chernobyl NPP accident is higher up to several orders of magnitude compared to the dose to the Japanese population after the «Fukushima-1» accident. No statistically reliable long-term medical consequences are expected for all groups of the Japanese public, additionally exposed due to «Fukushima-1» accident. 134 emergency workers have developed acute radiation sickness due to the Chernobyl NPP accident. Emergency workers with doses higher than 150 mSv had increased radiation-induced morbidity with leukemia and solid cancers. Among the individuals, that were kids or adolescents in the exposure period after the Chernobyl NPP accident and residing on the territories of Belorussia, Ukraine and four most radioactively contaminated regions of the Russian Federation, morbidity with thyroid cancer is increase by a factor of 10 compared to the pre-accidental levels. The following lessons of the Chernobyl NPP and «Fukushima-1» NPP can be derived: faults in the NPP design and lack of response after the recognition of the faults; lack of timely full-scale prophylactic with iodine; unjustified resettlement of the residents of the radioactively contaminated territories several years after the accident.

Key words: Chernobyl NPP accident, «Fukushima-1» accident, radionuclides, radioactive contamination density, dose to the public, medical consequences, thyroid cancer.

Ivan K. Romanovich

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: I.Romanovich@niirg.ru

References

1. Radiation-hygienic aspects of the negotiation of the Chernobyl NPP consequences. Ed. By academic of RAS Onischenko GG and prof. Popova AYU. Saint-Petersburg, NIIRG after P.V. Ramzaev; 2016. Vol. 1. 448 p. (In Russian)
2. Onishchenko GG. The Chernobyl – Thirty Years after the Post – Accidental Radiological – Hygienic and Medical Consequences. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(2):10-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2016-9-2-10-19> (In Russian)
3. Onischenko GG. Radiation-Hygienic and medical consequences of the Chernobyl accident: results and prognosis. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(2):23-30. (In Russian)
4. Balonov MI. International Assessments of Impacts of the Chernobyl Accident: the Chernobyl Forum (2003–2005) and UNSCEAR (2005–2008). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(2):31-39. (In Russian)
5. Medical radiological consequences of Chernobyl: prognosis and real data 30 years later. Ed. Ivanov VK, Kaprin AD. Moscow: GEOS; 2015. 450 p. (In Russian)
6. Ilyin LA. Realities and myths of the Chernobyl: 2nd edition, corrected and expanded. Moscow: ALARA-Limited; 1996. 480 p. (In Russian)
7. Voronov SI, Lutoshkin AV, Popova AYU, Stepanov VS, Peshkov YuV, Kraevoy SA, et al. Russian national report 30 years of the Chernobyl accident. Results and perspectives of negotiation of the consequences in Russia 1986-2016. Ed. Puchkov VA, Bolshov LA. EMERCOM of Russia; 2016. 202 p. (In Russian)
8. Romanovich IK, Bruk GYA, Bazyukin AB, Bratilova AA, Yakovlev VA. The dynamics of the average annual and cumulative radiation exposure doses of the adult population of the Russian federation after the Chernobyl disaster. *Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya = Health of the public and the environment*. 2020;3(324): 33-38. ISSN: 2219-5238 ISSN: 2619-0788. (In Russian)
9. Romanovich IK, Bruk GYA, Barkovsky AN, Bratilova AA, Gromov AV, Kaduka MV. Substantiation of the concept of transfer to conditions of normal population activity of the settlements considered to be zones of radioactive contamination after the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(1):6-18. (In Russian)
10. Romanovich IK, Balonov MI, Barkovsky AN, Nikitin AI. NPP “Fukushima-1” accident: management of the prophylactic actions aimed at the preservation of health of the public of the Russian Federation. Ed. by academic of RAS Onischenko GG. Saint-Petersburg: NIIRG after P.V. Ramzaev; 2012. 336 p. (In Russian)
11. Arutyunyan RV, Bolshov LA, Borovoy AA, Velikhov EP. System analysis of the causes and consequences of the “Fukushima-1” NPP accident. Institute of the problems of the safe development of the nuclear energy RAS. Moscow; 2018. 408 p. (In Russian)
12. The Fukushima Daiichi accident: Report by the Director general. Vienna: Intern. Atomic Energy Agency, 2015. 209 p. (IAEA. GC(59)/14). – Available from: <http://www-pub.iaea.org> (Accessed: 24.02.2021)
13. Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Ivanov SA, Biblin AM, Repin VS, et al. Results of the fourth combined scientific expedition for the radiation monitoring in the Kurily-Kamchatka region of the Pacific ocean. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(1): 6–15. (In Russian)
14. Chernobyl NPP accident and consequences: Information prepared for the IAEA expert meeting: 25-29.08 1986.: Vienna, parts 1 and 2. Moscow: GK IAE USSR; 1986. 73 p. (In Russian)
15. Asmolov VG, Borovoy AA, Demin VF, Kalugin AK, Kuzmin II, Kulakov VM, et al. Chernobyl NPP accident – a year after. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*. 1988;64(1): 3 – 23. (In Russian)
16. Analysis of the factors of the Chernobyl NPP accident by the mathematic modelling of the physical processes: report of the VNIIAES. Inv. Number 864; 1987. 52 p. (In Russian)
17. Yadrikhinskiy AA. Nuclear accident on the 4th unit of the Chernobyl NPP and nuclear safety of the RBMK reactors: Gospromatomnadzor inspection on Kursk NPP. Kurchatov; 1989. 47 p. (In Russian)
18. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, A Comparison of US and Japanese Regulatory Requirements in Effect at the Time of the Fukushima Accident, NRC, Washington, DC; 2013.
19. ICAFNPS. Final report and attachments. Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company on 28 November 2012. – Available from: <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/final-report.html> (Accessed: 24.02.2021)
20. Proshin AD, Stepanenko PA, Shaposhnikova EN. Radiation-ecological situation on the territory of Bryansk region in 1986-2000. Consequences of the Chernobyl accident. Health of the Bryansk region public: proceedings. Bryansk: Chitay-gorod; 2001. P. 10 – 18. (In Russian)
21. Chernobyl legacy: medical, ecological, and social-economic consequences and recommendation to the governments of Belorussia, Russian Federation and Ukraine. Chernobyl forum: 2003-2005. 2nd ed. Vena: IAEA; 2006. 58 p. (In Russian)
22. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: translation from English. Edited by Kiselev MF, Shandala NK. Moscow: «Alana»; 2009. 312 p. (In Russian)
23. IAEA Safety Standards for protecting people and environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. Part 3 No GSR Part 3. Vienna; 2014. 436 p. (In Russian)
24. Temporal guidelines on the development of the measures on the protection of the public for the nuclear reactor accidents. Approved by the deputy chief sanitary doctor of USSR Loranskiy DN. 18.12.1970; №872/1. Moscow; 1971. 46 p. (In Russian)
25. Dibobes IK, Ilyin LA, Konstantinov YuO, et al. Emergency decision-making on the protection of the public in case of emergency radioactive discharge into the environment. Handling of radiation accidents. Proc. Symp., Vienna, 19-23 May 1969. IAEA, Vienna; 1969. P. 547-558. (In Russian)
26. Konstantinov YuO. Criteria for the emergency decision-making on the protection of the public for the NPP accidents // Radiation protection and safety of NPP.: M. Energoatomizdat; 1985. No. 9. P. 148-152. (In Russian)
27. SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements on the safety and food value of the food products. Sanitary rules and norms. M.: FGUP “InterSEN”; 2002. P. 50-58. (In Russian)
28. Joint sanitary-epidemiological and hygienic requirements on the goods for the sanitary-epidemiological control (with changes on 15.01.2013). Decision of the Customs Union commission. 28.05.2010. No. 299. (In Russian)
29. MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE. New Standard Limits for Radionuclides in Foods. 2012. – Available from: http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/new_standard.pdf (Accessed: 24.02.2021)
30. Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2013 report. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume 1. Scientific Annex A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. United Nations; 2014. 321 p.
31. TEPCO. Press release (Nov 30, 2011): Evaluation status of internal exposure dose of emergency workers. Tokyo Electric Power Company. on 11 April 2013. – Available from: (<http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11113013-e.html>) (Accessed: 24.02.2021)

32. Balonov M. Health Effects of Reactor Accidents with Special Regards to Chernobyl – A Review Paper. *Journal of the Physical Society of Japan*. 2019;54 (3): 161 – 171.
33. Abagyan AA, Asmolov VG, Guskova AK, et al. Data on the Chernobyl NPP accident and its consequences for the IAEA. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*. 1986;61(5): 301-320. (In Russian)
34. Guskova AK. Medical consequences of the Chernobyl NPP accident. Main results and unsolved problems. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*. 2010;55(3): 17-28. (In Russian)
35. Ivanov VK, Khait SE, Kashcheev VV, et al. Leukosis morbidity of the liquidators of the consequences of the Chernobyl NPP accident for the 1986-2007 surveillance period. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2010;19(2): 7-20. (In Russian)
36. Ivanov VK, Karpenko SV, Kashcheev VV, Chekin SYu, Maksyutov MA, Tumanov KA, et al. Radiation risks of the Russian liquidators of the consequences of the Chernobyl NPP accident for the 1992-2017 period. Part 1: solid cancer morbidity. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2019;28(4): 16-30. (In Russian)
37. Ivanov VK, Karpenko SV, Kashcheev VV. Radiation risks of the Russian liquidators of the consequences of the Chernobyl NPP accident for the 1992-2017 period. Part 1: solid cancer mortality. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2020;29(1): 18-31. (In Russian)
38. Rozhko AV, Cheshik AA, Veyalkin IV, Nikonovich SN. Morbidity by the malignant neoplasms of the blood and lymphatic system of the liquidators of the Chernobyl NPP accident in the Republic of Belarus. Bulletin of the national academy of sciences of Belarus. Medical sciences series. 2017;3: 82–90. (In Russian)
39. UNSCEAR. Evaluation of data on Thyroid Cancer in Regions affected by the Chernobyl accident. A white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. United Nations. New York; 2018. 30 p.
40. Ivanov VK, Tsyb AF, Maksyutov MA, Tumanov KA, Chekin SYu, Kashcheev VV, et al. Problem of the thyroid cancer in Russian after the Chernobyl NPP accident: assessment of the radiation risks in 1991-2008 surveillance period. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2010;19(3): 33-58. (In Russian)
41. Consequences of the exposure for the human health due to the Chernobyl accident. UNSCEAR. Scientific annex D for the USCEAR 2008 report. UN. New-York; 2012. 182 p. (In Russian)
42. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation. World Health Organization; 2013. 172 p.

Received: February 25, 2021

Gennadiy G. Onischenko – Doctor of Medical Science, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Head of the Department of Human Ecology and Environmental Hygiene, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

Anna Yu. Popova – Doctor of Medical Science, Professor, Head of the Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; Head of the Department of Organization of Sanitary and Epidemiological Service, Russian Medical Academy of the Continuous Professional Education, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

For correspondence: Ivan K. Romanovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: I.Romanovich@niirg.ru)

For citation: Onischenko G.G., Popova A.Yu., Romanovich I.K. Radiological consequences and lessons of the Chernobyl NPP and “Fukushima-1” NPP radiation accidents. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 1. P. 6-16. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-6-16