

Научное обоснование подходов к организации и проведению радиационного обследования реабилитированных радиационных объектов

И.К. Романович

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

Статья посвящена научному обоснованию подходов к организации заключительного радиационного обследования объектов, имеющих радиоактивное загрязнение, после их реабилитации. Выполнен анализ научных публикаций о предшествующем опыте реабилитации загрязненных радионуклидами объектов, организации и проведению радиационного обследования до начала дезактивации, в процессе ее выполнения и по завершении. Изучен опыт реабилитации пункта временного хранения отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов в губе Андреева в Северо-Западном регионе России, мест проведения мирных ядерных взрывов, экспериментальных ядерных энергетических установок, радиохимической лаборатории, металлургических заводов, не являющихся радиационными объектами. Установлено, что, кроме поверхностного загрязнения почвы, на площадках выводимых из эксплуатации радиационных объектов имеются участки радиоактивного загрязнения со значительным, до 15 м, заглублением по профилю. Указанные локальные участки с глубинным загрязнением грунта являются стойкими загрязнителями подземных вод. Опыт радиационного обследования мест проведения мирных ядерных взрывов свидетельствует о выносе радионуклидов из полостей, образованных с применением ядерных взрывных технологий в мирных целях, на земную поверхность. На основе анализа состава радионуклидов, выявленных на радиационных объектах, подвергшихся дезактивации, предложен оптимизированный перечень радионуклидов, подлежащих контролю при радиационном обследовании реабилитированных объектов. Оптимизированный перечень включает 14 радионуклидов с периодами полураспада более 3 лет.

Ключевые слова: радиационный объект, радиоактивное загрязнение, радиационное обследование, радиационный контроль, реабилитация, дезактивация, удельная активность, дозы облучения.

Введение

Завершающим этапом существования любого радиационного объекта является этап снятия с эксплуатации. Принятие решения о дальнейшем использовании территории выведенного из эксплуатации радиационного объекта после ее реабилитации принимается в зависимости от уровня остаточного радиоактивного загрязнения. В публикациях [1, 2] нами были обоснованы и представлены критерии радиационной безопасности с учетом направлений планируемого использования объектов и участков территорий, реабилитированных после загрязнения радионуклидами в результате радиационных инцидентов и аварий, а также прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности.

Предложены варианты направлений возможного использования реабилитированных объектов:

– неограниченное использование по радиационному фактору, предполагающее постоянное проживание насе-

ления с возможностью сельскохозяйственного использования земли;

– ограниченное использование с постоянным проживанием населения на реабилитированной территории и/или объекте с запретом на сельскохозяйственное использование земли;

– ограниченное использование только в производственных условиях;

– ограниченное по времени использование с максимальным пребыванием на объекте не более 1 месяца в году, в том числе использование с целью рекреации (туризма).

Предложены дозовый критерий радиационной безопасности реабилитированных объектов и участков территорий (доза дополнительного техногенного облучения критической группы населения не должна превышать 0,3 мЗв/год) и численные значения контрольных уровней по мощности AMBIENTНОЙ дозы гамма-излучения, остаточной удельной активности техногенных радионуклидов в стро-

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; Тел.: (812)233-53-63. E-mail: I.Romanovich@niir.ru

ительных конструкциях, почве и других объектах внешней среды, снимаемому радиоактивному загрязнению поверхности, с которыми может контактировать население.

Однако радиационная безопасность населения, использующего реабилитированные объекты и участки территорий, зависит не только от качества проведения дезактивационных работ, но в значительной мере определяется объективностью и полнотой заключительного радиационного обследования, на основании которого определяется разрешенный вид использования указанных объектов и участков территории.

Данные заключительного радиационного обследования должны в каждом конкретном случае обладать достаточным уровнем достоверности при всех неопределенностях, которые зачастую связаны с отсутствием данных об истории эксплуатации радиационного объекта, имевших место радиационных авариях и инцидентах, о скрытых подземных сооружениях и захоронениях радиоактивных отходов на площадке.

К выводу из эксплуатации и реабилитации в ближайшие годы в соответствии с Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2) запланировано значительное число самых разнообразных радиационных объектов [3–7]:

- экспериментальные и исследовательские ядерные энергетические установки;
- надводные корабли и подводные лодки с ядерными энергетическими установками, плавучие и береговые базы их технического обслуживания;
- предприятия по добыче и производству ядерного топлива, хранению и переработке отработавшего ядерного топлива;
- предприятия по переработке, хранению и захоронению радиоактивных отходов;
- предприятия и площадки по производству и испытанию ядерного оружия;
- предприятия неядерных отраслей промышленности, на которых используются источники ионизирующего излучения и радиоактивные вещества;
- другие предприятия и учреждения, на которых произошли аварии с источниками ионизирующего излучения.

Изучение и анализ предшествующего опыта реабилитации, организации и методов радиационного обследования и контроля радиационных объектов

Для научного обоснования подходов к организации и проведению радиационного обследования реабилитированных объектов и участков территории, которые были загрязнены техногенными радионуклидами в результате прошлой деятельности, нами был изучен и проанализирован предшествующий опыт реабилитации указанных выше объектов, а также имеющиеся нормативно-методические документы в данной области.

Одним из наиболее показательных практических опытов реабилитации радиационных объектов является реабилитация пункта временного хранения отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов в губе Андреева в Северо-Западном регионе России [8–16]. В 1960-е гг. на побережье Баренцева моря были созданы береговые технические базы Военно-морского фло-

та, обеспечивавшие эксплуатацию атомных подводных лодок. Одна из таких технических баз была развернута в губе Андреева Кольского залива. На данной технической базе осуществлялся прием и хранение свежего и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), твердых и жидких радиоактивных отходов (РАО). С 1985 г. функционирование технической базы по прямому назначению прекращено, и она переименована в пункт временного хранения (ПВХ) СевРАО. Данный ПВХ является самым крупным объектом, на территории которого хранятся исторически накопленные в ходе деятельности ВМФ ОЯТ и РАО. В непосредственной близости к ПВХ расположены пос. Нерпичье (1,8 км), пос. Большая Лопатка (2,4 км) и населенный пункт ЗАТО г. Заозерск (8 км) с населением около 13 000 человек [9–11]. В 2004 г., уже в период производства реабилитационных мероприятий на ПВХ, специалистами Федерального медико-биологического агентства (ФМБА) был сделан вывод о недостаточности имеющихся данных о радиационно-гигиенической обстановке на ПВХ и прилегающей территории для оценки реальных доз облучения населения [9–11]. Сотрудниками ФМБЦ им. А.И. Бурназяна на протяжении 2005–2013 гг. на основе исследовательского радиационно-гигиенического мониторинга было проведено комплексное динамическое наблюдение с контролем параметров радиационно-гигиенической обстановки в районе расположения радиационного объекта [8–14]. На основе плана по реабилитации территории и имеющихся уже результатов радиационного контроля на начальном этапе радиационного обследования ПВХ были выбраны и согласованы точки радиационно-гигиенического мониторинга. В зависимости от основных параметров радиационной обстановки, радионуклидного состава загрязнений определен объем исследований. В связи с тем, что в зону радиоактивного загрязнения вошли как часть суши, так и береговая полоса залива, в перечень исследуемых проб внешней среды были включены почва и наземная растительность, пищевые продукты местного происхождения (ягоды и грибы), вода из наблюдательных скважин и ручьев, вода из источников питьевого водоснабжения, донные отложения, водоросли и морская вода. В процессе радиационного обследования было установлено, что, кроме поверхностного загрязнения почвы, на территории ПВХ имеются локальные участки радиоактивного загрязнения со значительным заглублением активности. Загрязнение ^{137}Cs на уровне 2 и более МБк/кг наблюдалось на глубине до 5,6 м, ^{137}Cs и ^{90}Sr в концентрациях 6–50 кБк/кг – на глубинах 6,5–15,6 м. Указанные локальные участки с глубинным загрязнением грунта являлись стойкими загрязнителями подземных вод, приводящими к загрязнению береговой полосы залива. Так, содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в пробах почвы и растительности, отобранных в устье бывшего ручья, достигали 470 кБк/кг. Концентрация ^{137}Cs в донных отложениях береговой полосы ПВХ составляла 100 Бк/кг, в районе бывшего ручья – 36 Бк/кг.

Следовательно, на радиационных объектах, где длительное время осуществлялось обращение с ОЯТ и высокоактивными РАО, происходит локальное радиоактивное загрязнение почвы на большие глубины (более 15 м), что в дальнейшем является источником загрязнения подземных вод и распространения радионуклидов за пределы радиационного объекта.

В настоящее время остается не решенной проблема ликвидации последствий массового затопления в арктических морях РАО и объектов с ОЯТ, а также затонувших атомных подводных лодок [17]. В связи с возрастающей экономической ролью Арктики проблемы экологической безопасности региона приобретают все большее значение. В настоящее время рассматриваются направления и способы реабилитации морских акваторий.

В нашей стране имеется опыт реабилитации радиоактивного загрязнения акватории [18–25]. В 1991 г. в акватории Ладожского озера был осуществлен подъем радиоактивно загрязненного опытового судна, на котором в 1953–1954 гг. производились испытания радиологического оружия. К началу проведения работ по подъему опытовое судно находилось на грунте в полузатопленном состоянии на глубине 4,5–6 м. Внутренние помещения судна содержали около 2000 м³ загрязненной радионуклидами воды и ила, смешанных с нефтепродуктами. В месте стоянки судна и на расстоянии до 500 м от него было выявлено повышенное содержания ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs и ^{239,240}Pu в пробах воды, донных отложений и водорослей. Некоторые лица из населения, несмотря на запрет, посещали судно для отдыха и рыболовства, и доза их облучения могла достигать 0,5 мЗв/год. Судоподъемные работы включали: завод понтонов, герметизацию подводной части корпуса, откачку жидких РАО из судна в спецтанкеры, подъем судна и постановку его в транспортный плавучий док, переработку и отверждение жидких РАО, сброс очищенных вод в акваторию Ладожского озера. Проведенная переработка жидких РАО и тщательный радиационный контроль всех технологических процессов судоподъема не допустили гигиенически значимого ухудшения радиационной обстановки в бассейне Ладожского озера. Повышение уровня радиоактивности воды во время проведения работ по подъему опытового судна было обусловлено, в основном, перемешиванием и подъемом загрязненных донных отложений. Таким образом, из акватории Ладожского озера, основного источника питьевого водоснабжения г. Санкт-Петербурга (Ленинграда), был удален радиоактивно загрязненный объект, источник поступления радионуклидов с рыбой и питьевой водой для жителей многомиллионного мегаполиса.

При проведении работ по подъему в акватории Ладожского озера радиоактивно загрязненного судна были установлены основные закономерности распределения радионуклидов в средах: вода – донные отложения – водоросли, а также радиус распространения радиоактивных загрязнений для каждой из исследованных сред.

Значительные успехи в последнее десятилетие достигнуты в реабилитации мест проведения мирных ядерных взрывов (МЯВ) [6, 26–31].

На территории России с 1965 по 1988 г. в народнохозяйственных целях было произведено 80 МЯВ, два из которых являлись аварийными, два – с запланированным и один с постоянным нерегулируемым выносом радиоактивности на поверхность земли [6].

По состоянию на 2008 г., МЯВ характеризовались как бесхозные радиационные объекты, вызывавшие значительное беспокойство местного населения. Данные о радиационной обстановке на указанных объектах были неполные и противоречивые. Специалистами Санкт-Петербургского научно-исследовательского института

радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева проведены исследования по изучению радиационной обстановки в местах проведения МЯВ, оценены возможные дозы облучения местного населения, разработаны предложения по обеспечению радиационной безопасности [6, 26–31].

В результате радиационных обследований мест проведения МЯВ практически на каждом из них были выявлены особенности, влияющие как на радиационную обстановку района их размещения, так и на формирование доз облучения населения. Так, на объектах «Днепр-1, 2» (Мурманская область), где были произведены два взрыва с целью дробления рудного тела, из штолен вытекают ручейки с высоким содержанием трития. Данный район входит в популярную туристическую зону, и туристы употребляли для питья воду из ручейков, считая эту воду родниковой. На данном объекте проведены временные реабилитационные мероприятия, заключающиеся в разбавлении вытекающей из штолен воды. Для этого русло речки Рисйок было перенаправлено к штольням, и образован пруд-смеситель [6, 26–31].

На объекте «Тавда» (Тюменская область) в результате проведения МЯВ с целью создания подземных емкостей имело место предположение о загрязнении тритием подземных вод, используемых для водоснабжения населения, в том числе и г. Тюмень. Планом радиационного обследования места проведения МЯВ «Тавда» были определены и согласованы с Управлением Роспотребнадзора по Тюменской области точки отбора проб подземных и открытых источников водоснабжения на всем протяжении от точки проведения МЯВ «Тавда» до г. Тюмень. Повышенных уровней трития в подземных и открытых источниках водоснабжения и питьевой воде выявлено не было.

В результате проведенных специалистами Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева исследований установлено, что источниками существующего дополнительного внутреннего техногенного облучения населения, обусловленного влиянием МЯВ, могут быть загрязненные радионуклидами:

- природные пищевые продукты (грибы, ягоды, рыба и др.), собранные на радиоактивно загрязненной территории в месте проведения МЯВ, и сельскохозяйственная продукция, произведенная на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ;

- питьевая вода.

Основными долгоживущими техногенными радионуклидами, которые при выходе на поверхность или в водоносные горизонты могут давать вклад в дозу внешнего и внутреннего облучения, являются: ³H, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, изотопы урана и плутония.

На территории охранной зоны (ОЗ) вокруг МЯВ проводится радиационный контроль (РК). На основании результатов РК дается оценка дозы техногенного облучения критической группы населения. РК проводится на территории ОЗ, в контрольных точках и в населенных пунктах, находящихся в радиусе до 30 км от места проведения МЯВ.

Основными целями РК являются оценка текущей радиационной обстановки на территории, прилегающей к месту проведения МЯВ, наблюдение за динамикой радиационной обстановки и оценка доз облучения критической группы населения.

Выбор критической группы осуществляется из населения, проживающего в ближайшем населенном пункте, с учетом местоположения и специфики территории ОЗ для каждого МЯВ отдельно, но не далее 30 км. При выборе критической группы устанавливаются:

- максимальное время пребывания человека вблизи территории ОЗ;
- масса потребленных природных (дикорастущих) пищевых продуктов;
- объем воды, потребляемой из источников питьевого водоснабжения.

Оценка дозы облучения критической группы населения выполняется с использованием результатов РК территориальными органами, уполномоченными осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор.

Результатами работ по обследованию МЯВ стали разработанные специалистами Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.6.1.2622-10 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности на объектах хранения газового конденсата в подземных резервуарах, образованных с применением ядерно-взрывной технологии» и СанПиН 2.6.1.2819-10 «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965–1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях». В соответствии с данными правилами доза дополнительно техногенного облучения критической группы населения за счет МЯВ не должна превышать 0,3 мЗв/год.

В соответствии с СанПиН 2.6.1.2819-10 РосРАО уже проведены реабилитационные мероприятия на объекте «Глобус-1» (Ивановская область).

Опыт радиационного обследования мест проведения МЯВ свидетельствует, что вынос радионуклидов из полостей, образованных с применением ядерных взрывных технологий в мирных целях, и их распространение на значительные расстояния возможны по глубоким водоносным горизонтам, а также наземными ручейками и реками [6, 26–31].

В этой связи обязательным требованием обеспечения радиационной безопасности на объектах МЯВ является включение в перечень радиационного контроля всех основных параметров, определяющих радиационную обстановку, а именно:

- измерение мощности дозы гамма-излучения на территории объектов, в ОЗ и на прилегающей территории;
- измерение уровней поверхностного загрязнения радиоактивными веществами оборудования, транспортных средств;
- определение уровней радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды (почва, растительность, вода поверхностных водоемов) в ОЗ и на прилегающей территории;
- определение содержания техногенных радионуклидов в воде водоотводящих каналов;
- определение содержания техногенных радионуклидов в грунтовых водах;
- определение содержания техногенных радионуклидов в воде водоносных горизонтов.

Для контроля за миграцией радионуклидов из места проведения МЯВ в почву и водоносные горизонты на их

территории и в ОЗ создают наблюдательные скважины. Выбор конструкции, глубины и места расположения наблюдательных скважин должен проводиться в соответствии с гидрогеологическими условиями района расположения объекта МЯВ и прогнозными расчетами миграции радионуклидов при возможных выбросах. Скважины должны располагаться по направлению возможного перемещения радионуклидов, чтобы постоянно контролировать миграцию радионуклидов из полости и мест временного хранения радиоактивных отходов и своевременно предупредить возникновение нештатных ситуаций, которые могут привести к радиоактивному загрязнению грунтовых вод.

Вывод из эксплуатации экспериментальных и исследовательских ядерных реакторов имеет свои особенности [32–36]:

1) чрезвычайно высокие уровни гамма-излучения от корпуса реактора, внутриреакторного оборудования и материалов;

2) скопление за длительный период эксплуатации больших количеств высокорadioактивных РАО и ОЯТ, хранящихся в подреакторных или надреакторных помещениях;

3) наведенная активность в окружающих реактор средах и материалах, в том числе зданий и сооружений, что качественно отличает радиоактивное загрязнение стен зданий и сооружений реакторных помещений от стен зданий и сооружений других радиационных объектов, в которых оно определяется поверхностным загрязнением и адсорбцией радионуклидов материалами стен;

4) присутствие в загрязненных или активированных материалах практически всех осколочных радионуклидов ядерного деления и продуктов активации химических элементов, входящих в состав инженерных конструкций реактора и защитных сооружений, со средним и длительным периодом полураспада.

Учет перечисленных в третьем и четвертом пунктах особенностей имеет очень важное значение при радиационном обследовании зданий и сооружений после реабилитации площадок с ядерными энергетическими установками. При определении остаточной активности материала стен зданий и сооружений необходимо их исследование на полную толщину, а также определение удельной активности каждого радионуклида и суммарной их активности, учет их вклада в дозу облучения, что при наличии значительного числа радионуклидов представляется непростой задачей.

Отдельно необходимо остановиться на выводе из эксплуатации радиационных объектов, загрязненных техногенными альфа-излучающими радионуклидами. В 2014–2015 гг. был выведен из эксплуатации и дезактивирован корпус «Б» Акционерного общества «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» (АО «ВНИИНМ») [37]. В корпусе «Б», шестиэтажном здании общей площадью помещений 7469 м², построенном в 1945 г., выполнялись лабораторные, опытно-промышленные, стендовые и экспериментальные работы с ураном, плутонием, америцием, стронцием, цезием, включая работы с радиоактивными веществами в открытом виде I и II класса. К началу дезактивационных работ радиоактивное загрязнение поверхностей помещений и

оборудования значительно превышало допустимые уровни. В части помещений радионуклиды проникли вглубь стен и строительных конструкций. До начала дезактивационных работ была разработана программа радиационного обследования помещений здания и технологического оборудования с установлением контрольных уровней радиоактивного загрязнения, которым должны соответствовать стены и строительные конструкции здания и технологического оборудования после реабилитации.

Контрольные уровни снимаемого радиоактивного загрязнения по поверхностной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов после проведения дезактивационных работ были установлены на уровне 0,04 и 0,4 Бк/см², в соответствии с требованиями пункта 3.11.2. ОСПОРБ-99/2010. Контрольный уровень мощности AMBIENTного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения за счет техногенных радионуклидов был установлен на уровне 0,06 мкЗв/ч. Данный уровень МАЭД выбран в соответствии с требованиями пункта 3.3.1. ОСПОРБ-99/2010, определяющего данную величину для целей проектирования защиты от внешнего излучения для категории облучаемых лиц «население», и он не имеет отношения к установлению контрольного уровня МАЭД, для целей реабилитации. Предельная остаточная активность техногенных альфа-излучающих радионуклидов в пробах строительных конструкций на глубине 0–5 см была установлена на уровне 400 Бк/кг. Данное значение в 4 раза превышает значение, установленное ОСПОРБ-99/2010 (приложение 3), для изотопов плутония и америция (100 Бк/кг), при котором допускается неограниченное использование твердых материалов. Следует отметить, что и в данном случае применение нормативов, предназначенных для неограниченного использования материалов, установленных приложением 3 ОСПОРБ-99/2010 для нормирования остаточной активности материалов стен и конструкций, не вполне оправдано с точки зрения дальнейшего использования этих помещений для пребывания там населения. Данный опыт уникален и тем, что процесс дезактивации сопровождали специалисты Акционерного общества «Федеральный центр ядерной и радиационной безопасности Ростехнадзора» (АО ФЦЯРБ) и федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.А. Бурназяна), принимавшие непосредственное участие в радиационном обследовании и радиационном контроле здания, оборудования и отходов, образовавшихся в процессе дезактивации, а в дальнейшем проводивших экспертизу на соответствие реабилитированного здания требованиям санитарных правил и норм.

Кроме вывода из эксплуатации предприятий ядерного топливного цикла, в настоящее время проводится реабилитация и других радиационных объектов, а также предприятий, которые не являлись радиационными объектами, однако на их территории произошли аварии с источниками ионизирующего излучения. Так, в 1989 г. в результате несанкционированного поступления источника ¹³⁷Cs в плавильную печь на Подольском заводе цветных металлов были загрязнены отдельные цеха и территория завода [38, 39]. Подольский завод цветных металлов расположен в непосредственной близости от городского по-

селения Львовский Подольского района Московской области (≈ 1 км), в густонаселенном промышленном районе, с точки зрения гидрографии – в верхней левобережной части водосбора р. Петрицы (притоке р. Москвы).

В 1989–2001 гг. МосНПО «Радон» выполнил на Подольском заводе цветных металлов неотложную дезактивацию с удалением с территории завода среднеактивных РАО. По данным радиационного обследования, проведенного в 2007–2008 гг., на территории завода находилось около 18,5 тыс. м³ радиоактивно загрязненных отходов. Примерно 100–150 м³ из них отнесено к среднеактивным РАО, а около 7 тыс. м³ – к низкоактивным РАО. Глубина проникновения ¹³⁷Cs в грунты к 2008 г. составила около 1 м [38–39]. Данные отходы до 2016 г. оставались на специально выделенных площадках на территории завода. В 2016 г. с территории завода были удалены РАО, однако остались отходы с содержанием радионуклидов ниже МЗУА, но выше значений, приведенных в приложении 3 ОСПОРБ-99/2010, так называемые ОНАО. ОНАО на территории завода разместили в специально построенном хранилище.

В апреле 2013 г. на Электростальском заводе тяжелого машиностроения (г. Электросталь, Московская область) при переплавке металлолома также был расплавлен радионуклидный источник ¹³⁷Cs. Это привело к загрязнению значительной части территории завода и его цехов, а также локально части города Электросталь [40].

Общая площадь загрязнения, ограниченная изолинией в 0,6 мкЗв/ч на территории ОАО «ЗЭТМ», составляла не менее 7500 м². До настоящего времени площадка завода не дезактивирована, РАО временно складированы на радиоактивно загрязненном участке территории завода.

Особенностью радиационных аварий на Подольском заводе цветных металлов и Электростальском заводе тяжелого машиностроения является то, что данные предприятия не являлись радиационными объектами и для них не было предусмотрено санитарно-защитной зоны, спецканализации, места их расположения не выбирались с учетом местной гидрологии и других особых условий размещения радиационных объектов. Следовательно, кроме радиоактивного загрязнения территории завода со временем происходит радиоактивное загрязнение ливневой канализации, очистных сооружений и мест сброса очищенной воды. Эти обстоятельства также необходимо учитывать при реабилитации таких объектов и при радиационном обследовании реабилитированных площадок.

И, конечно же, нельзя не учитывать опыт реабилитации и радиационного обследования территорий Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ПО «Маяк», Чернобыльской АЭС [41–43], аварийному реагированию в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» [44–46].

Обоснование перечня радионуклидов, подлежащих контролю при заключительном радиационном обследовании реабилитированных радиационных объектов

При радиационном обследовании реабилитированных радиационных объектов очень важным является вопрос о перечне радионуклидов, которые подлежат контролю в обязательном порядке. В приложении 2 к НРБ-99/2009 представлены значения дозовых коэффициентов, преде-

лов годового поступления с воздухом и пищей и допустимой объемной активности во вдыхаемом воздухе для 402 отдельных радионуклидов для критических групп населения, и в приложении 3 – значения дозовых коэффициентов при поступлении радионуклидов в организм взрослых с водой для 197 отдельных радионуклидов.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды» в перечень раздела I «Для атмосферного воздуха» включено 93, в раздел II «Для водных объектов» – 80, в раздел III «Для почв» – 4 радиоактивных изотопа в элементной форме и в виде соединений. В число 4 радионуклидов, включенных в перечень, в

отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны почвы, вошли $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr и ^{137}Cs .

И.И. Линге и др. [47] предложили оптимизированный перечень радионуклидов, подлежащих государственному регулированию в сфере охраны окружающей среды (для атмосферного воздуха, воды и почвы) (табл. 1).

Анализ материалов предшествующего опыта реабилитации радиационных объектов свидетельствует о том, что данные объекты задолго до принятия решения об их реабилитации приостановили свою практическую деятельность. В этой связи на всех объектах, включая ядерные энергетические установки, бассейны выдержки отработавшего ядерного топлива, радиохимические комбинаты и т.д., будут отсутствовать короткоживущие

Таблица 1

Оптимизированный перечень радионуклидов, подлежащих государственному регулированию в сфере охраны окружающей среды (для атмосферного воздуха, воды и почвы) [47]

[Table 1

Optimized list of radionuclides subject to state regulation in the field of environmental protection (for atmospheric air, water and soil) [47]]

Изотоп [Isotope]	Название элемента [Element]	Изотоп [Isotope]	Название элемента [Element]
H-3	Водород (тритий) [Hydrogen (Tritium)]	Sb-125	Сурьма [Antimony]
C-14	Углерод [Carbon]	I-131	Йод [Iodine]
Na-22	Натрий [Sodium]	Cs-134	Цезий [Cesium]
Na-24	Натрий [Sodium]	Cs-137*	Цезий [Cesium]
P-32	Фосфор [Phosphorus]	Ba-140	Барий [Barium]
Mn-54	Марганец [Manganese]	La-140	Лантан [Lanthanum]
Fe-55	Железо [Iron]	Ce-141	Церий [Cerium]
Co-60	Кобальт [Cobalt]	Ce-144	Церий [Cerium]
Zn-65	Цинк [Zinc]	Ra-226 *	Радий [Radium]
Sr-89	Стронций [Strontium]	Th-232 *	Торий [Thorium]
Sr-90*	Стронций [Strontium]	U-234*	Уран [Uranium]
Nb-95	Ниобий [Niobium]	U-238	Уран [Uranium]
Zr-95	Цирконий [Zirconium]	Pu-239 *	Плутоний [Plutonium]
Ru-103	Рутений [Ruthenium]	Pu-240 *	Плутоний [Plutonium]
Ru-106	Рутений [Ruthenium]	Am-241 *	Америций [Americium]
Ag-110m	Серебро [Silver]		

* – с продуктами их распада.
[with decay products].

радионуклиды, образующиеся при ядерной реакции деления. А те короткоживущие радионуклиды, которые образуются при распаде радионуклидов со средними (от 3 до 30 лет) и длительными (более 30 лет) периодами полураспада учитываются в цепочке распада при идентификации основного радионуклида. В НРБ-99/2009 материнские радионуклиды приведены в условиях их равновесия с дочерними: к примеру, при идентификации радия-226 учитываются Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-

210, Bi-210, Po-210, а U-природного – Th-234, Pa-234m, U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210.

Таким образом, исключив из списка, представленного в таблице 1, короткоживущие радионуклиды, получим оптимизированный перечень радионуклидов, подлежащих контролю при радиационном обследовании реабилитированных радиационных объектов (табл. 2).

Таблица 2

Предлагаемый оптимизированный перечень радионуклидов, подлежащих контролю при заключительном радиационном обследовании реабилитированных радиационных объектов

[Table 2]

The proposed optimized list of radionuclides to be monitored in the final radiation survey at rehabilitated sites

Изотоп [Isotope]	Название элемента [Element]	Изотоп [Isotope]	Название элемента [Element]
H-3	Водород (тритий) [Hydrogen (Tritium)]	Ra-226 *	Радий [Radium]
C-14	Углерод [Carbon]	Th-232 *	Торий [Thorium]
Fe-55	Железо [Iron]	U-234*	Уран [Uranium]
Co-60	Кобальт [Cobalt]	U-238* (природный) [(natural)]	Уран [Uranium]
Sr-90*	Стронций [Strontium]	Pu-239 *	Плутоний [Plutonium]
Sb-125	Сурьма [Antimony]	Pu-240 *	Плутоний [Plutonium]
Cs-137*	Цезий [Cesium]	Am-241 *	Америций [Americium]

* – с продуктами их распада.
[with decay products].

Общие требования к организации и проведению радиационного обследования и оценки соответствия реабилитированных радиационных объектов установленным критериям

Общие рекомендации по радиационному обследованию и процедуре освобождения из-под радиационного контроля площадок реабилитированных радиационных объектов даны в серии Норм МАГАТЭ, Руководство № WS-G-5.1 [48]. Важными положениями указанного руководства являются:

– наличие в национальных нормативно-методических документах правового положения, предусматривающего проведение регулирующим органом рассмотрения и утверждения плана реабилитации, разработанного оператором, несущим ответственность за осуществление проекта по реабилитации;

– необходимость участия регулирующего органа в ходе осуществления мониторинга площадки для оценки эффективности дезактивационных работ с целью обеспечения соответствия реабилитируемого объекта критериям конечного состояния;

– для определения уровня загрязнения и обеспечения соблюдения требований по обеспечению радиационной защиты и охране окружающей среды регулирующему органу в ходе проведения дезактивационных работ необходимо на регулярной основе вести мониторинг и обследование окрестностей реабилитируемого объекта.

Общие требования к аппаратуре и организации контроля радиационной обстановки на предприятиях Минатома России установлены МУ 2.6.1.14-2001. 2.6.1. «Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль радиационной обстановки. Общие требования» (утв. Федеральным управлением «Медбиоэкстрем» при Минздраве России 26.03.2001 г., Минатомом 29.11.2000 г., Главным государственным санитарным врачом РФ 09.12.2000 г. Для обеспечения единства методических подходов и полноты обеспечения радиационной безопасности в данных методических указаниях даются основные требования к организации и объему контроля при нормальной и аварийной ситуации, а также технические требования к аппаратуре контроля радиационной обстановки. Основными из них являются:

– при работе с техногенными источниками ионизирующего излучения для объекта соответствующей категории по потенциальной опасности радиационной обстановки должен быть предусмотрен конкретный объем контроля радиационной обстановки: перечень видов контроля, типов радиометрической и дозиметрической аппаратуры, точек измерения и периодичности контроля;

– контроль радиационной обстановки должен охватывать производственные помещения, территорию организации, санитарно-защитную зону и зону наблюдения;

– общие требования к объему контроля радиационной обстановки для организации устанавливаются на этапе проектирования по согласованию с органами государственного надзора за радиационной безопасностью;

– в проектной документации радиационных объектов должны быть определены квоты на облучение населения при нормальной работе объекта.

Кроме того, радиационный контроль различных объектов внешней среды, технологических и биологических объектов, включая человека, должен отвечать определенным требованиям, основные из которых [49]:

– получение признаваемых результатов;

– наличие нормативов;

– наличие критериев оценки соответствия результатов радиационного контроля установленным нормативам и способов их применения.

Признаваемость результатов радиационного контроля характеризуется прослеживаемостью измерений, т.е. возможностью сопоставления результатов измерений с эталоном соответствующей величины через непрерывную цепь сличений и достоверностью измерений, подтверждаемой корректной оценкой суммарной неопределенности результатов измерений.

Проведение радиационного контроля в соответствии с методическими рекомендациями «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при проведении дезактивационных работ по ликвидации локального радиоактивного загрязнения (территорий, жилых, общественных и производственных объектов)», утвержденными 27.05.2005 г. заместителем руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, подразделяется на два этапа. Подготовительный этап включает:

– получение «паспортных данных» участка радиоактивного загрязнения, разработка ситуационного плана (схемы) территории в масштабе;

– анализ радиационной обстановки для данной территории с целью оценки возможной радиационной опасности;

– подготовка рабочей карты (схемы) территории с обозначением профилей или маршрутных линий, привязанных к ориентирам местности, для проведения пешеходной и/или автомобильной гамма-съёмки, точек отбора проб грунта для гамма-спектрометрии.

Второй этап – это детальный радиационный контроль участка радиоактивного загрязнения, включающий:

– измерение МАЭД внешнего гамма-излучения;

– определение глубины залегания радиоактивных загрязнений путем шпурения (бурения), измерения МАЭД гамма-излучения и взятия проб для спектрометрических и радиометрических измерений удельной активности.

В результате изучения и анализа требований международных рекомендаций и национальных нормативно-методических документов по радиационному обследованию радиоактивно загрязненных участков территории, зданий и сооружений нами определены основные контролируемые радиационные параметры:

– годовая эффективная и эквивалентная дозы;

– поступление и содержание радионуклидов в организме;

– объемная или удельная активность радионуклидов в почве, воздухе, воде, продуктах питания и др.;

– радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, рабочих поверхностей и т. д.;

– доза и мощность дозы внешнего гамма-излучения;

– плотность потока частиц и фотонов.

Заключение

Одним из наиболее показательных практических опытов реабилитации радиационных объектов является реабилитация пункта временного хранения отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов в губе Андреева в Северо-Западном регионе России. В процессе радиационного обследования данного объекта было установлено, что, кроме поверхностного загрязнения почвы, на его территории имеются локальные участки радиоактивного загрязнения со значительным заглублением активности. Загрязнение ^{137}Cs на уровне 2 и более МБк/кг наблюдалось на глубине до 5,6 м, ^{137}Cs и ^{90}Sr в концентрациях 6–50 кБк/кг – на глубинах 6,5–15,6 м. Указанные локальные участки с глубинным загрязнением грунта являлись стойкими загрязнителями подземных вод, приводящих к загрязнению береговой полосы залива.

В результате проведенных специалистами Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева исследований мест проведения мирных ядерных взрывов установлено, что основными долгоживущими техногенными радионуклидами, которые при выходе на поверхность или в водоносные горизонты могут давать вклад в дозу внешнего и внутреннего облучения населения, являются: ^3H , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am , изотопы урана и плутония.

Проведенный анализ перечней радионуклидов, выявленных на различных объектах, подвергшихся дезактивации, позволил предложить оптимизированный перечень радионуклидов, подлежащих контролю при заключительном радиационном обследовании реабилитированных радиационных объектов. Оптимизированный перечень включает 14 радионуклидов с периодами полураспада более 3 лет.

На основе результатов представленного анализа опыта ранее проведенных реабилитационных мероприятий на различных объектах, загрязненных радионуклидами в результате радиационных аварий и предшествующей деятельности, изучения требований нормативно-методических документов и рекомендаций по организации и проведению радиационного обследования объектов и участков территорий, сформированы основные требования к проведению заключительного радиационного обследования реабилитированных объектов. Такое обследование направлено на решение следующих основных задач:

– достоверное определение соответствия или несоответствия реабилитированного радиационного объекта установленным критериям реабилитации с учетом планируемого его использования в дальнейшем;

– определение, при необходимости, дополнительных требований по реабилитации данного объекта;

– решение вопроса о необходимости и объеме радиационного контроля реабилитированного объекта в процессе его дальнейшей эксплуатации;

– уточнение набора ограничений при дальнейшей эксплуатации реабилитированного объекта.

Как видно из вышеприведенного анализа ранее выполненных работ по реабилитации различных объектов, успешное решение этих задач возможно только в том случае, если заключительному радиационному обследованию предшествовали следующие предварительные мероприятия и исследования:

– получение, анализ и систематизация информации о характере деятельности, имевших место радиационных авариях и инцидентах, наличии захоронений РАО на территории реабилитируемого объекта и существующей радиационной обстановке до начала работ по его реабилитации;

– определение границ влияния реабилитируемого объекта;

– проведение начального радиационного контроля реабилитируемого объекта до начала работ по его реабилитации;

– разработка проекта реабилитации радиационного объекта и программы текущего радиационного контроля в процессе реабилитации;

– согласование регулирующими органами проекта реабилитации радиационного объекта и программы текущего радиационного контроля в процессе реабилитации;

– проведение текущего радиационного контроля на всех этапах выполнения работ по реабилитации;

– составление плана заключительного радиационного обследования с учетом результатов начального и текущего радиационного контроля.

Проведение заключительного радиационного обследования включает следующие этапы:

– измерения и исследования, предусмотренные составленной программой;

– анализ полученных данных с учетом установленных критериев реабилитации и планируемого характера дальнейшего использования реабилитируемого объекта;

– подготовка заключения по результатам проведенного заключительного радиационного обследования с учетом результатов текущего радиационного контроля.

Ключевым моментом для выявления всех локальных радиоактивных загрязнений, не соответствующих установленным критериям реабилитации, является обязательное участие организации, проводящей заключительное радиационное обследование, во всех предварительных этапах работ по реабилитации.

Литература

1. Романович, И.К. Критерии реабилитации объектов и территорий, загрязненных радионуклидами в результате прошлой деятельности: Часть 1. Выбор показателей для обоснования критериев реабилитации / И.К. Романович, И.П. Стамат, Н.И. Санжарова, А.В. Панов // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 6–15.

2. Романович, И.К. Направления использования реабилитированных радиационных объектов / И.К. Романович // Актуальные проблемы медико-санитарного обеспечения деятельности объектов морской техники, предприятий с вредными и (или) опасными производственными факторами, а также экологического благополучия территорий, обслуживаемых Федеральным медико-биологическим агентством: мат. IV Всероссийской науч.-практ. конф., посвященной 50-летию ФГУП НИИПММ, Санкт-Петербург, 28–29 июня 2017 г. – СПб., 2017. – С. 250–254.

3. Крюков, О.В. Итоги реализации ФЦП ЯРБ 2008-2015 и задачи на будущее / О.В. Крюков, А.А. Абрамов; под общ. ред. Л.А. Большова // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: сб. мат. юбил. X Российской науч. конф., Москва, Обнинск, 22–25 сентября 2015 г. – М.: ООО «САМ Полиграфист», 2015. – С. 24–35.

4. Большов, Л.А. Практика и задачи научного обеспечения работ по ядерному наследию / Л.А. Большов, И.И. Линге, А.А. Саркисов, С.С. Уткин // Атомная энергия. – 2016. – Т. 120, № 4. – С. 201–207.

5. Горлинский, Ю.Е. Уроки разработки стратегии экологической реабилитации объекта радиационного наследия / Ю.Е. Горлинский, В.А. Кутыков, О.А. Никольский // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107, № 6. – С. 334–342.

6. Романович, И.К. Актуальные задачи радиационной гигиены в свете итогов ФЦП ЯРБ / И.К. Романович; под общ. ред. Л.А. Большова // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: сб. мат. юбил. X Российской науч. конф., Москва, Обнинск, 22–25 сентября 2015 г. – М.: ООО «САМ Полиграфист», 2015. – С. 94–110.

7. Беляев, М.В. ФГУП «РОСРАО»: Проекты реабилитации / М.В. Беляев // Безопасность окружающей среды. – 2010, № 3. – С. 45–52.

8. Sneve M.K., Kiselev M., Kochetkov O. Regulatory improvements related to the radiation and environmental protection during remediation of the nuclear legacy sites in North West Russia. Final report of work completed by FMBA and NRPA in 2007. Str lever Rapport 2008:8. ster s: Norwegian Radiation Protection Authority 2008. Spr k: engelsk. 183 p.

9. Шандала, Н.К. Регулирующий надзор и оценка радиационной обстановки в районах размещения бывших военных технических баз / Н.К. Шандала, С.М. Киселев, А.В. Титов [и др.] // Гигиена и Санитария. – 2013. – № 3. – С. 15–19.

10. Шандала, Н.К. 10-летний опыт регулирования радиационной безопасности при реабилитации объектов СЗЦ «СевРАО» / Н.К. Шандала, С.М. Киселев, А.В. Симаков [и др.] // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: сб. тез. док. 10-й юбил. Российской науч. конф. – 2015. – С. 163–164.

11. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе размещения пункта временного хранения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов в губе Андреева / Н.К. Шандала, А.А. Филимонова, Е.С. Щелканова [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 59, № 2. – С. 5–11.

12. Сивинцев, Ю.В. Количественные критерии реабилитации территории береговых технических баз ВМФ / Ю.В. Сивинцев, В.Л. Высоцкий, Р.И. Калинин [и др.] // Атомная энергия. – 2006. – Т. 101, № 1. – С. 35–49.

13. Ильин, Л.А. Состояние и перспективы мониторинга радиационно-гигиенической обстановки в районах АЭС / Л.А. Ильин, Н.К. Шандала, М.Н. Савкин [и др.] // Бюллетень по атомной энергии. – 2004. – № 5. – С. 66–71.

14. Ильин, Л.А. Состояние и перспективы мониторинга радиационно-гигиенической обстановки в районах АЭС / Л.А. Ильин, Н.К. Шандала, М.Н. Савкин [и др.] // Бюллетень по атомной энергии. – 2004. – № 4. – С. 56–62.

15. Shandala N.K., Sneve M.K., Smith G.M., Kiselev M.F., Kochetkov O.A., Savkin M.N. [et al.] Regulatory supervision for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. J. Radiol. Prot. 2008; 28(4):453-65.

16. Shandala N.K., Titov A.V., Sneve M.K., Smith G.M., Novikova N.Y., Romanov V.V. [et al.] Radiological criteria for remediation of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. *J. Radiol. Prot.* 2008; 28(4):479-97.
17. Саркисов, А.А. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. Радиозоологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей / А.А. Саркисов, Ю.В. Сивинцев, В.Л. Высоцкий, В.С. Никитин // Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М., 2015. – 699 с.
18. Романович, И.К. Гигиеническая характеристика радиационной обстановки на акватории Ладожского озера при подъеме радиоактивно загрязненного опытового судна «Кит» / И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 3. – С. 6–13.
19. Терешкин, В. «Грязная бомба» Ленинграда: Операция «Кит» на Ладоге» / Виктор Терешкин. http://bellona.ru/2015/04/09/kit_na_ladoge-2/#bio-58527 (дата обращения: 19.07.2016).
20. Медников, В. Одиссея опасного «Кита» / Виктор Медников // Тайны истории. – 2014. – № 28. <http://info.cake.dn.ua/odisseye-opasnogo-kita> (дата обращения: 19.07.2016).
21. Объект 230 ВМФ // Красная звезда. – 2014, 1 апр. (№ 33(11598)); 2 апр. (№ 34 (11599)).
22. Тарасов, О. Чёрная быль Ладоги / О. Тарасов // Ленинградская правда. – 1991. – 10 апр. № 83 (23125). – с. 3; 11 апр. № 84 (23126). – С. 3; 12 апр. № 85 (23127). – С. 3.
23. Агапов, А.М. Радиоактивное загрязнение водной системы река Нева – Ладожское озеро / А.М. Агапов [и др.] // Радиохимия. – 2003. – Т. 45, № 4. – С. 370–374
24. Захарченко, М.П. Радиация, экология, здоровье / М.П. Захарченко [и др.]. – СПб.: Гуманистика, 2003. – 336 с.
25. Ткаченко, А.В. Радиационное обследование островов Хейнясенмаа в 2012 году / А.В. Ткаченко, В.Ю. Цветков. <http://www.ipkecol.ru/index.php/ekoinfo/publikatsii/radiatsionnoe-obsledovanie-ostrovov.html>. (дата обращения: 16.06.2016).
26. Тимофеева, М.А. О внесении данных о радиационно-гигиенической обстановке в местах проведения мирных ядерных взрывов в радиационно-гигиенический паспорт территории субъекта Российской Федерации / М.А. Тимофеева, А.Н. Барковский, А.Ю. Медведев [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 51–54.
27. Рамзаев, В.П. Радиационно-гигиенический мониторинг в местах применения ядерно-взрывных технологий в мирных целях и расчет доз облучения критических групп населения / В.П. Рамзаев, А.Ю. Медведев, В.С. Репин [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 33–39.
28. Рамзаев, В.П. Мирные ядерные взрывы: проблемы и пути обеспечения радиационной безопасности населения / В.П. Рамзаев, В.С. Репин, Е.В. Храмцов // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 2. – С. 27–33.
29. Рамзаев, В.П. О влиянии подземных ядерных взрывов «Кратон-3» и «Кристалл» на радиационно-гигиеническую обстановку в близлежащих населенных пунктах / В.П. Рамзаев, И.Г. Травникова, Л.Н. Басалаева [и др.] // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1, № 2. – С. 14–19.
30. Романович, И.К. Обоснование радиационной безопасности длительного хранения газового конденсата в подземных резервуарах, образованных с применением ядерновзрывной технологии / И.К. Романович, С.Л. Спешилов, М.К. Теплов // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 16–23.
31. Храмцов, Е.В. Объективное и субъективное в оценке опасности последствий мирных ядерных взрывов на примере объекта «Днепр» / Е.В. Храмцов, К.В. Варфоломеева, С.А. Зеленцова [и др.] // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 35–44.
32. Иванов, О.П. Обеспечение безопасности при работах по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт» / О.П. Иванов, В.И. Колядин, А.В. Лемус [и др.]; под общ. ред. Л.А.Большова // Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: сб. мат. юбил. X Российской науч. конф., Москва, Обнинск, 22–25 сентября 2015 г. – М.: ООО «САМ Полиграфист», 2015. – С. 58–68.
33. Структура и содержание отчета по результатам комплексного инженерного и радиационного обследования для вывода из эксплуатации блока атомной станции РБ-081-13 // Ядерная и радиационная безопасность. – 2014. – № 2 (72). – С. 13–26.
34. Енговатов, И.А. Комплексное инженерное и радиационное обследование в проблеме вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС / И.А. Енговатов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 1. – С. 125–132.
35. Хвостова, М.С. Некоторые аспекты вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС / М.С. Хвостова // Электрические станции. – 2011. – № 10. – С. 2–9.
36. Хвостова, М.С. Инженерно-экологические особенности вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС, расположенных на территории Российской Федерации / М.С. Хвостова // Энергоснабжение и водоподготовка. – 2011. – № 5. – С. 5–8.
37. Ермаков, А.И. Радиационно-гигиенические подходы при выводе из эксплуатации объектов, загрязненных техногенными альфа-излучателями / А.И. Ермаков, С.В. Семеновых, И.П. Коренков [и др.] // АНРИ. – 2015. – № 4. – С. 58–64.
38. Волков, В.Г. Радиационное обследование радиоактивных объектов Кирово-Чепецкого химического комбината / В.Г. Волков, А.Г. Волкович, О.П. Иванов [и др.] // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107. – № 2. – С. 75–81.
39. Волков, В.Г. Подготовка объектов Подольского завода цветных металлов к реабилитации / В.Г. Волков, А.Г. Волкович, А.С. Данилович [и др.] // Атомная энергия. – 2010. – Т. 109, вып. 2. – С. 89–94.
40. Романович, И.К. Радиационная обстановка на Электростальском заводе тяжелого машиностроения и прилегающей территории г. Электросталь, связанная с расплавлением радионуклидного источника / И.К. Романович, Г.Я. Брук, А.В. Громов, В.П. Рамзаев // Актуальные вопросы радиационной гигиены: сб. тез. конф. – СПб, 2014. – С. 165–167.
41. Романович, И.К. Особенности оценки текущих доз облучения детей, проживающих на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях / И.К. Романович, А.В. Громов, Г.Я. Брук, В.В. Кучумов // Радиационная гигиена. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 38–44.
42. Барковский, А.Н. Разработка радиационно-гигиенических критериев и требований по обеспечению процедуры перехода населенных пунктов от условий радиационной аварии к условиям нормальной жизнедеятельности населения / А.Н. Барковский, Г.Я. Брук, И.К. Романович // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – № 4. – С. 14–17.
43. Брук, Г.Я. Радиационно-гигиенические критерии и требования по обеспечению процедуры перехода населенных пунктов, пострадавших вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Г.Я. Брук, А.Н. Барковский, И.К. Романович // Санитарный врач. – 2013. – № 1. – С. 50–52.
44. Романович, И.К. Авария на АЭС «Фукусима – 1»: организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения Российской Федерации / И.К. Романович, М.И. Балонов, А.Н. Барковский, А.И. Никитин [и др.]; под ред. академика РАМН Г.Г. Онищенко. – СПб: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2012. – 336 с.
45. Онищенко, Г.Г. Авария на АЭС «Фукусима-1»: первые итоги аварийного реагирования. Сообщение 1: Общие сведения об аварии и радиационной обстановке / Г.Г. Онищенко, И.К. Романович, М.И. Балонов [и др.] // Радиационная гигиена. – СПб. – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 5–12.

46. Онищенко, Г.Г. Авария на АЭС «Фукусима-1»: первые итоги аварийного реагирования. Сообщение 2: Действия органов Роспотребнадзора по радиационной защите населения Российской Федерации на ранней стадии аварии / Г.Г. Онищенко, И.К. Романович, А.Н. Барковский [и др.] // Радиационная гигиена. – СПб. – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 13–22.
47. Линге, И.И. О радиационном контроле радионуклидов для целей государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды / И.И. Линге, С.В. Панченко, М.М. Горелов // АНРИ. – 2017, № 1. – С. 12–19.
48. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности «Освобождение площадок от регулирующего контроля после завершения практической деятельности». Руководство № WS-G-5.1. – Вена, 2008. – 42 с.
49. Григорьев, Е.И. Критерии соответствия в радиационном контроле / Е.И. Григорьев, В.П. Ярына, Е.А. Иванов, А.С. Коротков, И.В. Пырков // АНРИ. – 2011. – № 1. – С. 2–6.

Поступила: 08.08.2017 г.

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор 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. Тел.: 8(812)233-53-63; E-mail: I.Romanovich@niirg.ru

Для цитирования: Романович И.К. Научное обоснование подходов к организации и проведению радиационного обследования реабилитированных радиационных объектов // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 90-102. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-90-102

Scientific substantiation of approaches to organization and conducting radiation surveys at the rehabilitated radiation sites

Ivan K. Romanovich

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

The article is concerned with the scientific justification of approaches to the organization of the final radiation survey of facilities having radioactive contamination, after their rehabilitation. Scientific publications on the previous experience in rehabilitation of facilities contaminated with radionuclides, the organization and conducting a radiation survey before the start of the decontamination, during its implementation and after its completion were analyzed. The experience in the rehabilitation of the site for the temporary storage of spent fuel and radioactive waste in Andreeva Bay in the North-West region of Russia, the locations of peaceful nuclear explosions, experimental nuclear power plants, a radiochemical laboratory, and metallurgical plants, that do not belong to radiation facilities, has been studied. It has been established that, besides the surface contamination of the soil, areas of radioactive contamination on sites of decommissioned radiation facilities with significant depth up to 15 m along the profile are available. These local zones with depth soil contamination are persistent contaminants of the groundwater. The experience in the radiation survey of the peaceful nuclear explosions sites shows the removal of radionuclides from cavities, formed with the use of nuclear explosive technologies for peaceful purposes, on the earth's surface. An optimized list of radionuclides to be monitored during the radiological survey of rehabilitated facilities was proposed based on the analysis of the composition of radionuclides detected at radiation sites subjected to decontamination. The optimized list includes 14 radionuclides with the half-lives of more than three years.

Key words: radiation facility, radioactive contamination, radiation survey, radiation control, rehabilitation, radiological decontamination, volume activity, exposure dose.

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

- Romanovich I.K., Stamat I.P., Sanzharova N.I., Panov A.V. Criteria for rehabilitation of facilities and territories contaminated with radionuclides as a result of past activities: Part 1. The choice of indicators for justification of the criteria for rehabilitation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2016, Vol. 9, № 4, pp. 6-15. (In Russian)
- Romanovich I.K. Directions for use of rehabilitated radiation objects. Actual problems of health service support of activities of marine facilities, enterprises with harmful and (or) hazardous workplace factors, and ecological well-being of territories under surveillance of the Federal Medical and Biological Agency. Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 50 anniversary of the FSUE RI IMM; 2017 June 28-29, Saint Petersburg, 2017, pp. 250-254. (In Russian).
- Kryukov O.V., Abramov A.A. Results of the implementation of FTP NRS 2008-2015 and challenges for the future. Radiation protection and radiation safety in nuclear technology: Proceedings of the anniversary X All-Russian scientific and practical conference. Ed.: Bolshov L.A.; 2015 September 22-25, Moscow, Obninsk: LLC «SAM poligrafist», 2015, pp. 24-35. (In Russian).
- Bolshov L.A., Linge I.I., Sarkisov A.A., Utkin S.S. Practice and Problems of Scientific Support for Nuclear Legacy Work. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*, 2016, Vol. 120, № 4, pp. 252-258. (In Russian).
- Gorlinsky Yu.E., Kutkov V.A., Nikolsky O.A. Lessons from the development of a strategy for eco-rehabilitation of a radiation-legacy object. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*, 2009, Vol. 107, № 6, pp. 406-413. (In Russian).
- Romanovich I.K. Actual problems of radiation hygiene in the light of the outcomes of the FTP NRS. Radiation protection and radiation safety in nuclear technology: Proceedings of the anniversary X All-Russian scientific and practical conference. Ed.: Bolshov L.A.; 22-25 September 2015, Moscow, Obninsk: LLC «SAM poligrafist», 2015, pp. 94-110. (In Russian).
- Belyaev M.V. FSUE RosRAO: remediation projects. *Bezopasnost okruzhayushchey sredy = Environmental safety*, 2010, № 3, pp. 45-52. (In Russian).
- Sneve M. K., Kiselev M., Kochetkov O. Regulatory improvements related to the radiation and environmental protection during remediation of the nuclear legacy sites in North West Russia. Final report of work completed by FMBA and NRPRA in 2007. *Str levernRapport 2008:8. ster s: Norwegian Radiation Protection Authority 2008. Spr k: engelsk*. 183 p.
- Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V., Seregin V.A. [et al.] Regulatory supervision and assessment of the radiological situation in the areas of location of former military technical bases. *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and sanitation*, 2013, № 3, pp. 15-19. (In Russian).
- Shandala N.K., Kiselev S.M., Simakov A.V., Abramov Yu.V. [et al.] 10-year experience in regulating radiation safety in the rehabilitation of SevRAO facilities. Radiation protection and radiation safety in nuclear technology: Proceedings of the anniversary X All-Russian scientific and practical conference. Ed.: Bolshov L.A.; 22-25 September 2015, Moscow, Obninsk: LLC «SAM poligrafist», 2015, pp. 163-164. (In Russian).
- Shandala N.K., Filimonova A.A., Shchelkanova E.S., Sneve M.K. [et al.] Radiation Survey at Andreeva Bay Sites of Temporary Storage of the Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*, 2014, Vol. 59, № 2, pp. 5-12. (In Russian).
- Sivintsev Yu.V., Vysotsky V.L., Kalinin R.I., Aden V.G., Vasilyev A.P. Quantitative criteria for rehabilitation of the territory of shore servicing bases of the naval fleet. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*, 2006, Vol. 101, № 1, pp. 494-505. (In Russian).
- Ilyin L.A., Shandala N.K., Savkin M.N. [et al.] Status and prospects for monitoring radiation and hygienic situation in the areas of nuclear power plants. *Byulleten po atomnoy energii = Bulletin of atomic energy*, 2004, № 5, pp. 66-71. (In Russian).
- Ilyin L.A., Shandala N.K., Savkin M.N. [et al.] Status and prospects for monitoring radiation and hygienic situation in the areas of nuclear power plants. *Byulleten po atomnoy energii = Bulletin of atomic energy*, 2004, № 4, pp. 56-62. (In Russian).
- Shandala N.K., Sneve M.K., Smith G.M., Kiselev M.F., Kochetkov O.A., Savkin M.N. [et al.] Regulatory supervision of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. *J. Radiol. Prot.*, 2008; 28(4):453-65.
- Shandala N.K., Titov A.V., Sneve M.K., Smith G.M., Novikova N.Y., Romanov V.V. et al. Radiological criteria for remediation of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. *J. Radiol. Prot.*, 2008; 28(4):479-97.
- Sarkisov A. A., Sivintsev Yu. V., Vysotsky V. L., Nikitin V. S. The atomic heritage of the Cold War on the bottom of the Arctic. Radioecological and technical and economic problems of radiation rehabilitation of the seas. Institut problem bezopasnogo razvitiya atomnoy energetiki RAN = Nuclear Safety Institute (IBRAE) RAS, Moscow, 2015, 699 p. (In Russian).
- Romanovich I.K. Hygienic characteristics of radiation situation in the water area of The Ladoga Lake during salvaging of the radioactively contaminated experimental vessel «KIT». *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2016; 9(3):6-13. (In Russian).
- Tereshkin V. «Dirty bomb» of Leningrad: Operation «Kit» on Ladoga ». – Available from: http://bellona.ru/2015/04/09/kit_na_ladoge-2/#bio-58527 (Accessed: July 19, 2016). (In Russian).
- Mednikov V. Odyssey of the dangerous «Kit». *Tayny istorii = Secrets of history*, 2014, No. 28. – Available from: <http://info.cake.dn.ua/odissey-a-opasnogo-kita> (Accessed: July 19, 2016). (In Russian).
- The object 230 of the Navy. *Krasnaya zvezda = Red star*, 2014, Apr 1. (No. 33(11598); 2 Apr. (No. 34 (11599)). (In Russian).
- Tarasov O. The Black story of Ladoga. *Leningradskaya pravda*, 1991, 10 apr. No. 83 (23125). – from. 3; 11 Apr. No. 84 (23126). – from. 3; 12 Apr. No. 85 (23127). – from. 3. (In Russian).
- Agapov A.M., Belenky M.I., Gavrilov V.M., Gritchenko Z.G., Ivanova L.M. [et al.] Radioactive Contamination of the Neva River-Lake Ladoga Aquatic System. *Radiokhimiya = Radiochemistry*, 2003, Vol.45, No 4, pp. 370-374. (In Russian).
- Zakharchenko M.P., Khavinson V.Kh., Onikienko S.B., Novozhilov G.N. Radiation, ecology, health. Saint-Petersburg, Gumanistika, 2003, 336 p. (In Russian).
- Tkachenko A.V., Tsvetkov V.Yu. A radiation survey of the Kheinyasenmaa Islands in 2012. – Available from: <http://www.ipkecol.ru/index.php/ekoinfo/publikatsii/radiatsionnoe-obsledovanieostrovov.html>. (Accessed:16.06.2016) (In Russian).
- Timofeeva M.A., Barkovsky A.N., Medvedev A.Yu., Ramzaev V.P., Repin V.S. On including the data relevant to peaceful nuclear explosions in the radiation hygiene passport of a territorial subject of the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2010; 3(3):51-54. (In Russian).
- Ramzaev V.P., Medvedev A.Yu., Repin V.S., Timofeeva M.A., Khrantsov E.V. Radiation monitoring the industrial nuclear explosion sites and evaluation of the doses to the critical groups of population. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2010; 3(1):33-39. (In Russian).
- Ramzaev V.P., Repin V.S., Khrantsov E.V. Peaceful underground nuclear explosions: current issues on radiation safety for general public. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2009;2(2):27-33. (In Russian).
- Ramzaev V.P., Travnikova I.G., Basalaeva L.N., Bruk G.Y., Golikov V.Y., Mishin A.S., Brown J.E., Strand P. On influence of the underground nuclear explosions Crystal and Kraton-3 on radiological situation in the nearest settlements.

- Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2008; 1(2):14-19. (In Russian).
30. Romanovich I.K., Speshilov S.L., Teplov M.K. Radiation safety justification for the long-term storage of gas condensate in the underground reservoirs formed by the nuclear explosion technology. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2010; 3(2):16-23. (In Russian).
 31. Khramtsov E.V., Varfolomeeva K.V., Zelentsova S.A., Arkhangel'skaya G.V., Repin V.S., Vishnyakova N.M. Objective and subjective in an assessment of the danger of the consequences of peaceful nuclear explosions on the example of facility «Dnepr». Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2015; 8(1):35-44. (In Russian).
 32. Ivanov O.P., Kolyadin V.I., Lemus A.V., Muzrukova V.D. [et al.] Ensuring safety during decommissioning of research reactors MR and RFT in NRC «Kurchatov Institute». Radiation protection and radiation safety in nuclear technology: Proceedings of the anniversary X All-Russian scientific and practical conference. Ed.: Bolshov L.A.; 22-25 September 2015, Moscow, Obninsk: LLC «SAM poligrafist», 2015, pp. 58-68. (In Russian).
 33. The structure and content of the report on results of comprehensive engineering and radiation survey for decommissioning of NPP power unit. RB-081-13. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost = Nuclear and Radiation Safety, 2014, № 2 (72), p. 13-26. (In Russian).
 34. Engovatov I.A. Comprehensive engineering and radiation surveys in decommissioning of nuclear power plants. Vestnik MGSU, 2013, № 1, pp. 125-132. (In Russian).
 35. Khvostova M.S. Some aspects of power units decommissioning of the nuclear power plants. Elektricheskies stantsii = Electrical Power Stations, 2011, № 10, pp. 2-9. (In Russian).
 36. Khvostova M.S. Engineering-ecological characteristics of the decommissioning of nuclear power units, located on the territory of the Russian Federation. Energosnabzhenie i vodo-podgotovka = Power supply and water treatment, 2011, № 5, pp. 5-8. (In Russian).
 37. Ermakov A.I., Semenovych S.V., Korenkov I.P., Lashchenova T.N., Mayzik A.B. Radiation and Sanitary Approach for Decommissioning Facilities Contaminated by Man-Made Alpha-Emitters. ANRI, 2015, № 4, pp. 58-64. (In Russian).
 38. Volkov V.G., Volkovich A.G., Ivanov O.P., Pavlenko V.I., Potapov V.N., Semenov S.G., Chesnokov A.V., Arustamov A.E., Veselov E.I., Vasendin D.R. Radiation survey of radioactive objects at the Kirovo-Chepetsk chemical combine. Atomnaya energiya = Atomic Energy, 2009, Vol. 107, № 2, pp. 75-81. (In Russian).
 39. Volkov V.G., Volkovich A.G., Danilovich A.S., Lemus A.V., Koltyshev S.M. [et al.] Preparation of objects at the Podolsk nonferrous metals works for rehabilitation. Atomnaya energiya = Atomic Energy 2010, Vol. 109, № 2, pp. 89-94. (In Russian).
 40. Romanovich I.K., Bruk G.Ya., Gromov A.V., Ramzaev V.P. Radiation situation at the Elektrostal plant of heavy engineering and the adjacent territory of Elektrostal, associated with the melting of a radionuclide source. Actual issues of radiation hygiene Proceedings of conference. Saint-Petersburg, 2014, pp. 165-167. (In Russian).
 41. Romanovich I.K., Gromov A.V., Bruk G.Ya., Kuchumov V.V. Peculiarities of current dose assessment for children living in the territories radioactively contaminated due to the Chernobyl accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, Saint-Petersburg, 2011, Vol. 4, № 1, pp. 38-44. (In Russian).
 42. Barkovsky A.N., Bruk G.Ya., Romanovich I.K. Development of radiation-hygienic criteria and demands for providing the process of settlements transfer from radiation accident conditions to the conditions of population normal vital activity. Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya = Health of the population and habitat, 2011, No 4 (217), pp. 14-17. (In Russian).
 43. Bruk G.Ya., Barkovsky A.N., Romanovich I.K. Radiation-hygienic criteria and requirements for providing the procedure of transition of human settlements affected by the accident at Chernobyl NPP. Sanitarnyy vrach = Sanitary doctor, №1, 2013, pp. 50-52. (In Russian).
 44. Romanovich I.K. [et al.] The accident at the «Fukushima-1» NPP: the preventive measures organization aimed at the preservation of the Russian Federation public health. Ed.: G.G. Onishchenko; St. Petersburg, Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P. V. Ramzaev, 2012, 336 p. (In Russian).
 45. Onishchenko G.G., Romanovich I.K., Balonov M.I., Barkovsky A.N., Gorsky A.A. Accident at «Fukushima-1» NPP: first results of emergency response. Report 1: general information about the accident and radiation situation. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2011, Vol. 4, № 2, pp. 5-12. (In Russian).
 46. Onishchenko G.G., Romanovich I.K., Barkovsky A.N., Bruk G.Y., Golikov V.Y., Gorsky A.A., Kaduka M.V., Konstantinov Y.O., Mishin A.S., Ramzaev V.P., Repin V.S., Shutov V.N., Gromov A.V., Goncharova Y.N., Yakovlev V.A. A ccident at «Fukushima-1» NPP: first results of emergency response. Report 2: activities of the ROSPOTREBNADZOR AUTHORITIES for the radiation protection of the Russian Federation population on the early stage of accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2011, Vol. 4, № 2. pp. 13-22. (In Russian).
 47. Linge I.I., Panchenko S.V., Gorelov M.M. Radiation Monitoring for the Purposes of Public Regulation in the Field of Environmental Protection. ANRI, 2017, № 1, pp. 12-19. (In Russian).
 48. IAEA Safety Standards Series. The release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices. Safety guide № WS-G-5.1. Vienna, 2008, 42 p. (In Russian).
 49. Grigoryev E.I., Yaryna V.P., Ivanov E.A., Korotkov A.S., Pyrkov I.V. Criteria of Conformity in Radiation Control. ANRI, 2011, № 1, pp. 2-6. (In Russian).

Received: August 08, 2017

For correspondence: Ivan K. Romanovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding member 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: Romanovich I.K. Scientific substantiation of approaches to organization and conducting radiation surveys at the rehabilitated radiation sites. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, No. 3, pp. 90-102. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-90-102