

Научное обоснование методических подходов к организации и проведению заключительного радиационного обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами

И.К. Романович, Т.А. Кормановская, Н.А. Королева, Э.П. Лисаченко, К.А. Сапрыкин

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

В Российской Федерации в соответствии с Федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» проводятся работы по ликвидации ядерного наследия. К ядерному наследию относятся шахты, рудники, промышленные площадки заводов, отвалы и хвостохранилища урановых производств (объекты уранового наследия), а также объекты добычи и переработки драгоценных и редких элементов и минерального сырья, в результате деятельности которых образовались отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов. Из-за разрушений или отсутствия барьеров, препятствующих распространению радионуклидов, происходит загрязнение природными радионуклидами объектов окружающей среды и облучение населения, проживающего в близлежащих населенных пунктах. Радионуклиды радия (^{226}Ra и ^{228}Ra) и их дочерние продукты распада вносят основной вклад в формирование дозы облучения и, соответственно, радиационных рисков для населения, проживающего вблизи таких объектов. В соответствии с отечественной нормативной базой, облучение населения, проживающего в районах размещения объектов уранового наследия, а также объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий неядерных отраслей промышленности, относится к природному облучению, на него распространяются требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 по ограничению природного облучения. Направлениями использования объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, после окончания мероприятий по их реабилитации будут являться неограниченное использование и использование в производственных целях. Для неограниченного использования реабилитированных участков территорий зданий и сооружений критериями будут являться требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 для строительства зданий жилищного и общественного назначения. Критериями использования реабилитированных участков территории зданий и сооружений с остаточным загрязнением природными радионуклидами в производственных целях будут являться требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 для строительства производственных зданий и сооружений.

Ключевые слова: дезактивация, добыча драгоценных и редких металлов, добыча минерального сырья, дозы облучения, отвалы, природные радионуклиды, радиационный контроль, реабилитация, техногенные радионуклиды, урановое наследие, хвостохранилища, ядерное наследие.

Введение

При дальнейшем развитии атомной энергетики, как в Российской Федерации, так и за рубежом, одной из важнейших проблем является ликвидация «ядерного наследия» [1–3]. На эти цели в ближайшие 15 лет направлена Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2) [3, 4].

В рамках ФЦП ЯРБ-2 предусмотрена разработка системы нормативно-правовых и инструктивно-методических документов по обеспечению радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии и других объектов, в результате деятельности которых образовались отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов, и дальнейшему использованию дезактивированных участков территории, зданий и сооружений.

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@niirg.ru

В предыдущих публикациях [3–6] нами изложены подходы к установлению критериев (требований) радиационной безопасности к дезактивированным участкам территории, зданиям и сооружениям выводимых из эксплуатации объектов использования атомной энергии с остаточным загрязнением техногенными радионуклидами.

Значительная часть объектов «ядерного наследия» связана с загрязнением природными радионуклидами. В первую очередь, это объекты добычи и обогащения урана – шахты, рудники, промышленные площадки заводов, отвалы и хвостохранилища (объекты уранового наследия). В настоящее время большинство шахт, отвалов и хвостохранилищ находятся в ненадлежащем, с точки зрения радиационной безопасности, состоянии [7–26]. Опасность представляет размыв этих отвалов и хвостохранилищ дождевыми и паводковыми водами, а также перенос ветром радиоактивной пыли, причем большинство хвостохранилищ находятся вблизи рек, воду которых потребляет местное население и в поймах которых производится выпас скота.

Кроме объектов использования атомной энергии, к радиоактивному загрязнению природными радионуклидами значительных по размеру участков территории привели и другие виды практической деятельности, в частности: добыча и извлечение драгоценных, редких и редкоземельных элементов; добыча нефти и газа; фосфатная промышленность; добыча и очистка подземных вод; сжигание угля [26–69].

В этой связи вторым направлением наших исследований явилось научное обоснование радиологических критериев безопасности участков территории, зданий и сооружений, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами, и методических и методологических подходов к организации и проведению заключительного радиационного обследования указанных участков, зданий и сооружений.

Характеристика и проекты реабилитации бывших урановых производств

Проблемы реабилитации бывших урановых производств характерны для многих стран мира (Австралии, Канады, Бразилии, Нигерии, ЮАР, США, Намибии, Индии, Чехии, Германии), в том числе для стран бывшего Советского Союза (Казахстана, Кыргызстана, России, Таджикистана, Узбекистана и Украины). К объектам уранового наследия относятся шахты, рудники, промышленные площадки горно-химических комбинатов и гидрометаллургических заводов, отвалы и хвостохранилища. Проблемы связаны с тем, что территории, на которых располагались основные урановые производства, подверглись радиоактивному загрязнению. Задача заключается в реабилитации или рекультивации таких объектов, т.е. в приведении их в соответствие с требованиями радиационной безопасности населения [7, 10, 12].

Самое большое число объектов уранового наследия находятся на территории Центральной Азии: в Республике Казахстан, Киргизской Республике, Республике Таджикистан, Республике Узбекистан [7, 9, 10, 12, 13, 20]. Значительная часть объектов уранового наследия находится также на территории Российской Федерации и Украины [15, 18, 19].

Урановое наследие Центральной Азии

Международные эксперты сделали вывод, что из многих хвостохранилищ Центральной Азии наибольшую потенциальную опасность представляют хвостохранилища г. Майлуу-Суу (Киргизская Республика) [10]. Урановое месторождение Майлуу-Суу эксплуатировалось с 1946 по 1968 г. В настоящее время на территории бывшего предприятия Ленинадского горно-химического комбината в г. Майлуу-Суу, в том числе непосредственно в городской черте, расположены 23 хвостохранилища и 13 горных отвалов. Общий объем отходов уранового производства, уложенных в хвостохранилищах, составляет около 2 млн м³. В горных отвалах четырех рудников накоплено 0,85 млн м³ пустых пород и бедных руд. Отвалы, большая часть которых расположены на склонах долины реки Майлуу-Суу, не рекультивированы. Район Майлуу-Суу относится к зоне высокой сейсмичности, в пределах которой возможны землетрясения с магнитудой $M > 7,0$. Такие сильные землетрясения способны спровоцировать сход крупных оползней, которые могут разрушить хвостохранилища и/или перекрыть русло реки Майлуу-Суу. Особое внимание к данной проблеме связано с тем, что большая часть хвостохранилищ расположены на берегах р. Майлуу-Суу, которая является одним из притоков р. Сыр-Дарья в верховьях Ферганской долины. Река Сыр-Дарья протекает по территории плотно населенной Ферганской долины в Республике Узбекистан, Республике Таджикистан и далее в Республике Казахстан. Оползневая деятельность может привести к выносу материала хвостохранилищ в реку Майлуу-Суу и, соответственно, способствовать расширению зоны радиоактивного загрязнения на всю Ферганскую долину [10]. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения на поверхности защитного покрытия хвостохранилищ находится в пределах от 60 до 100 мкР/ч, а на участках хвостохранилищ, где защитное покрытие нарушено или отсутствует, МЭД гамма-излучения достигает 1500 мкР/ч [10].

Основной вклад в радиоактивное загрязнение материала хвостохранилищ вносят радионуклиды радия, радона и их дочерние продукты. Объемная активность радона в воздухе над участками с защитным покрытием составляет от 22 до 100 Бк/м³, а над участками, где защитное покрытие отсутствует, и внутри некоторых помещений, размещенных в непосредственной близости от хвостохранилищ, – от 1000 до 6500 Бк/м³. Дренажные воды, стекающие в реку Майлуу-Суу, имеют высокое содержание ²³⁸⁺²³⁴U – от 15 до 50 Бк/л [10].

С 2014 г. проводятся реабилитационные мероприятия на объектах уранового наследия в поселках Мин-Куш и Каджи-Сай (Киргизская Республика) и в таджикском городе Истиклол.

Город Истиклол с населением около 12 000 человек находится всего в нескольких километрах от законсервированного Табошарского уранового месторождения, которое представляет собой обширную территорию общей площадью свыше 400 га, занятую поверхностными хранилищами, оставшимися от 4 гидрометаллургических заводов по переработке урановых руд. Комплекс захоронений состоит из незаконсервированного открытого карьера «Фабрики бедных руд», разрушенных промышленных зданий и 4 хвостохранилищ, содержащих около 12 млн тонн отходов урановых руд [7, 12].

В результате проведенного радиационного мониторинга определено, что суммарный годовой выброс радона из хвостохранилищ у г. Истиклол оценивается в $24,7 \times 10^{12}$ Бк. Миграция радона с воздушными потоками и его радиоактивный распад приводят к загрязнению прилегающих к объектам территорий долгоживущими продуктами распада – ^{210}Po и ^{210}Pb [7, 12]. Воды в районе г. Истиклола отличаются повышенными содержаниями ^{234}U , ^{238}U и ^{226}Ra , причем воды карьера, дренажи штолен и хранилищ радиоактивных отходов содержат изотопы урана в количествах, значительно превышающих уровни вмешательства для питьевой воды.

На хвостохранилищах у г. Истиклол предполагается выполнить строительно-монтажные работы, направленные на приведение объектов в безопасное состояние. В частности, будет проведена дезактивация существующих загрязненных территорий, реконструкция инженерных барьеров и системы водоотводов, будет создана система мониторинга.

Урановое наследие Российской Федерации

На территории Российской Федерации наиболее крупными объектами уранового наследия являются Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК), горнодобывающее предприятие ЛПО «Алмаз» и хвостохранилища Приаргунского производственного горно-химического объединения.

На КЧХК, построенном в конце 1930-х гг., были созданы производственные мощности по переработке уранового сырья, использовавшегося в процессе обогащения ядерного топлива. Технологические отходы после максимального извлечения из них урана в виде паст размещались в бетонных хранилищах с битумной гидроизоляцией или в приповерхностных сооружениях траншейного типа с глиняной гидроизоляцией. Низкоактивные шламы размещались в шламохранилищах. В процессе производственной деятельности подверглись загрязнению основные производственные корпуса комбината, грунты под ними, а также места заполнения и слива цистерн для транспортирования жидких РАО [11].

Специалистами РНЦ «Курчатовский институт» и ГУП МосНПО «Радон» разработана концепция вывода из эксплуатации объектов КЧХК, реабилитации зданий, территорий, хранилищ РАО и шламохранилищ. Основные задачи реабилитационных работ: обеспечение безопасного состояния шламов и радиоактивных отходов в хранилищах, дезактивация зданий и оборудования цехов, ликвидация отдельных хранилищ РАО, прекращение поступления радионуклидов в грунтовые воды и другие объекты окружающей среды [11].

Бывшее горнодобывающее предприятие ЛПО «Алмаз» расположено на территории Ставропольского края, в междуречье рек Кумы и Подкумка [21]. В состав предприятия входили эксплуатировавшиеся с 1950 по 1990 г. урановые рудники № 1 (Бештаугорское месторождение, гора Бештау) и № 2 (Быкогорское месторождение, гора Бык), завод по обогащению руд и хвостохранилище. Переработка руды проводилась на гидрометаллургическом заводе (ГМЗ), расположенном в промышленной зоне города Лермонтова. С 1954 г. здесь перерабатывался уран из рудников № 1 и № 2, а с 1974 по 1991 г. – привозные урановые руды. Отработка месторождений осуществлялась горным способом. Пустая порода складировалась

в отвалах, в районе устьев штолен. Отходы гидрометаллургического завода транспортировались на территорию хвостохранилища по пульпопроводу. После прекращения разработки месторождений и переработки руды была выполнена рекультивация горных отвалов, устья штолен перекрыли. Проводится рекультивация шламохранилища гидрометаллургического завода.

Приаргунское производственное горно-химическое объединения (ППГХО) является многоотраслевым горнодобывающим предприятием, осуществляющим подземную добычу урановых руд и их переработку гидрометаллургическим способом. Кроме промышленной площадки ППГХО, на прилегающих территориях находятся отвалы отработанных горных пород и хвостохранилища. Мощность дозы гамма-излучения на территории санитарно-защитной зоны (СЗЗ) составляет от 0,11 до 5,4 мкЗв/ч, а за пределами СЗЗ не превышает 0,32 мкЗв/ч (при фоновом значении 0,14 мкЗв/ч). Максимальная удельная активность ^{226}Ra в почве на территории СЗЗ достигает 12 800 Бк/кг, ^{230}Th – 510 Бк/кг. За пределами СЗЗ удельная активность ^{226}Ra в почве достигает 430 Бк/кг, при фоновом значении для данной местности 88 Бк/кг [25].

Урановое наследие Украины

Одним из первых в СССР предприятий по переработке уранового сырья было производственное объединение «Приднепровский химический завод» (далее ПО «ПХЗ») в городе Днепропетровске Днепропетровской области (Украина), который был введен в эксплуатацию в 1947 г. С развалом СССР в 1991 г. ПО «ПХЗ» прекратил основную деятельность по производству урана, после чего остались хвостохранилища отходов уранового производства [15]. При ликвидации завода хвостохранилища не были приведены в экологически безопасное состояние [22]. Это привело к созданию очагов радиоактивного загрязнения в пределах значительной территории Днепропетровской промышленно-городской агломерации. В хвостохранилищах накоплено до 42 млн т отходов от переработки урановых руд общей активностью радионуклидов урана $3,2 \times 10^{15}$ Бк (средняя удельная активность радионуклидов урана – 76 кБк/кг). Общая площадь хвостохранилищ – 2,77 млн м². Мощность экспозиционной дозы варьирует в пределах от 0,01 до 350 мкЗв/ч [15, 22].

Радон (Rn^{222}) и его дочерние продукты распада (Po^{218} , Pb^{214} , Bi^{214} , Po^{214} , Pb^{210} , Bi^{210} , Po^{210} , At^{218}) вносят основной вклад в формирование дозы облучения и, соответственно, радиационных рисков для населения Днепропетровской промышленно-городской агломерации. Ежегодно из хвостохранилищ ПО «ПХЗ» в воздух поступает $2,13 \times 10^{13}$ Бк, а из хранилищ уранового производства – $2,3 \times 10^{13}$ Бк радона [15, 24]. После эксхалиции радона из хвостохранилищ он диффузионно-конвективным путем распространяется в приземном слое атмосферы, создавая радоноопасную обстановку вокруг хвостохранилища [24].

Установлено, что индивидуальные дозы облучения населения поселков, наиболее близко расположенных к бывшему ПО «ПХЗ» и его хвостохранилищам, достигают 492 мкЗв/год. Коллективные дозы в населенных пунктах с максимальным количеством населения составляют: для населения Днепропетровска – 75,5 чел.-Зв/год, Таромского – 5,31 чел.-Зв/год, Карнауховки – 2,08 чел.-Зв/год [15, 22, 24].

Характеристика неядерных отраслей промышленности, приведших к радиоактивному загрязнению обширных участков территорий

Кроме объектов использования атомной энергии, к радиоактивному загрязнению природными радионуклидами значительных по размеру участков территории, зданий и сооружений привели и другие виды практической деятельности, в частности добыча и извлечение драгоценных, редких и редкоземельных элементов, добыча и переработка нефти и газа, водоочистка, добыча и сжигание угля и др. [27–69].

Радиационная обстановка на объектах добычи и извлечения драгоценных, редких и редкоземельных элементов

Повышенное содержание природных радионуклидов во вскрышных породах и хвостохранилищах характерно для предприятий по добыче драгоценных металлов и при разработке комплексных месторождений минерального сырья. В хвостах обогащения горно-обогатительных комбинатов, получающих концентраты тугоплавких металлов (W, Mo, Ta, Nb), удельные активности природных радионуклидов достигают 2,6 кБк/кг, при производстве минеральных удобрений – до 20 кБк/кг ^{226}Ra и до 46,3 кБк/кг ^{232}Th [8, 27–29, 37, 38].

Высокой степенью радиоактивности, которая связана с повышенным содержанием природных радионуклидов рядов урана и тория, характеризуется редкометалльное сырье Кольского региона. В хвостах обогащения редкометалльного сырья Ловозерского месторождения величина эффективной удельной активности природных радионуклидов $A_{\text{эфф}}$ достигает 4,6 кБк/кг, Хибинского – 2,2 кБк/кг [34]. В хвостах обогащения руд перспективного Томторского месторождения удельные активности достигают: ^{226}Ra – 1,2 кБк/кг; ^{228}Ra – 1,06 кБк/кг, а в кеках после вскрытия руды: ^{226}Ra – 1,4 кБк/кг [34, 37, 38].

Технологиям производства двуокиси титана TiO_2 сопутствует образование хвостохранилищ с повышенным содержанием природных радионуклидов, тонкая фракция которых поступает на близлежащие территории за счет ветрового выноса [35, 36]. Удельные активности природных радионуклидов в отходах оказываются выше, чем в исходном сырье, само сырье в производстве TiO_2 (перовскитовый, рутиловый и ильменитовый концентраты) уже отличается повышенным содержанием природных радионуклидов. Содержание ^{226}Ra в шламах титанового производства достигает 2,85 кБк/кг.

Полезным, с практической точки зрения, является опыт вывода из эксплуатации и реабилитации бывших промышленных объектов, загрязненных ^{232}Th и его дочерними продуктами, в Китае [36]. На предприятиях ранее получали торий из минеральных песков, содержавших равновесный ряд тория, а также производили и обрабатывали магниево-ториевые сплавы. На загрязненных участках удельные активности радионуклидов ряда ^{232}Th находились в пределах 0,1–500 кБк/кг. Мощность дозы внешнего гамма-излучения достигала 20 мкЗв/ч на поверхности земли и 5 мкЗв/ч на высоте 1 м.

Критериями реабилитации в Китае для радионуклидов ряда ^{232}Th были приняты значения остаточной удельной активности для разных сценариев:

- перепланировка промышленных площадок, загрязненных в результате прошлой деятельности, для бытового использования: <0,1 Бк/г;
- передача участка для промышленного использования: <0,5 Бк/г;
- частичное восстановление объекта, на котором должны продолжаться промышленные операции: <0,5 Бк/г.

Характеристика отходов, загрязненных природными радионуклидами, на предприятиях нефтегазовой отрасли

Источником загрязнения природными радионуклидами территорий предприятий нефтегазового комплекса (НГК) является их повышенное содержание в сопутствующих нефтегазодобыче подземных пластовых водах. При добыче и первичной подготовке нефти и газа на внутренней поверхности нефтегазопромыслового оборудования происходит осаждение изотопов радия из протекающих через него сопутствующих пластовых вод – ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{224}Ra [46–50]. В результате деятельности предприятий НГК в отдельных регионах страны накоплены сотни тысяч кубометров производственных отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов. В регионах нефтегазодобычи десятилетиями остаются неочищенными и нерекультивированными большие площадные радиоактивные загрязнения местности [46–50].

Радионуклидный состав производственных отходов НГК зависит от их возраста. Это обстоятельство следует учитывать при оценке содержания природных радионуклидов на загрязненных (реабилитированных) территориях, как по внешнему излучению, так и по удельной активности. В реальном масштабе времени количество ^{226}Ra в отходах со временем практически не меняется ($T_{1/2} = 1600$ лет). Изменение радионуклидного состава отходов определяется распадом ^{228}Ra и образованием и распадом его дочернего продукта ^{228}Th : ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,75$ лет) – $>^{228}\text{Th}$ ($T_{1/2} = 1,9$ лет) – $>^{224}\text{Ra}$ ($T_{1/2} = 3,66$ дня) [27, 30].

Производственные отходы водоподготовки

Организованному использованию всех видов подземных вод предшествует водоподготовка, которая удаляет из воды вредные примеси. Отходы водоподготовки содержат природные радионуклиды в широком диапазоне концентраций, достигающих в некоторых случаях 130 кБк/кг [48]. Коэффициент накопления ^{226}Ra в отходах водоподготовки относительно его содержания в воде оценивается величиной $\sim 2,5 \times 10^4$ [49, 51].

Материалами отходов водоподготовки с повышенным содержанием природных радионуклидов становятся: осадки с внутренней поверхности технологического оборудования, очистительные фильтры и смягчающие воду реагенты, которые могут задерживать до 90% содержащегося в воде радия, а также специальные сорбенты в сочетании с активированным углем, удерживающие до 95% радона [30]. В местах размещения отходов водоподготовки существенным является радоновыделение из отвалов [48, 52].

Количество отходов водоподготовки с повышенным содержанием природных радионуклидов определяется величиной водного потока, длительностью работы системы и ее технологическими особенностями, а не только содержанием природных радионуклидов в воде, которое может быть и невелико.

Удельные активности природных радионуклидов в отходах водоподготовки питьевой воды, по данным [53], достигают 128 кБк/кг по ^{228}Ac , 26 кБк/кг – по ^{212}Bi , 287 кБк/кг – по ^{214}Bi , 30 кБк/кг – по ^{212}Pb , 293 кБк/кг – по ^{214}Pb и до 12 кБк/кг – по ^{208}Tl . В фильтрах водоочистки удельная активность ^{226}Ra составляет 0,34–5,6 кБк/кг, а коэффициент эманирования равен 0,7 [52]. По нашим данным, в отработавших фильтрующих материалах (песчано-гравийная смесь) системы водоочистки г. Тверь удельная активность ^{226}Ra составляла 18 кБк/кг при коэффициенте эманирования в диапазоне 0,6–0,9. На станции обезжелезивания воды п. Лебяжье Ленинградской области отходы водоподготовки имели удельную активность ^{226}Ra до 40 кБк/кг, ^{228}Ra – до 30 кБк/кг при мощности экспозиционной дозы на поверхности отдельных элементов действующего технологического оборудования 100–200 мкР/ч, а на поверхности образовавшихся отходов – до 500 мкР/ч [51, 54].

Образование производственных отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов, связанное с большим потреблением воды, происходит и при производстве бумаги и целлюлозы. Осадки из труб сброса жидких отходов бумажной фабрики (США) содержали до 15 Бк/г ^{226}Ra и до 4 Бк/г ^{230}Th , а мощность дозы гамма-излучения от них достигала 1,7 мкЗв/ч [48, 55].

Значительный объем отходов с высоким содержанием природных радионуклидов образуется при производстве йода и брома из сопутствующих пластовых вод. На территории бывшего СССР йод из пластовых вод производили на Бакинском и Ново-Нефтечалинском заводах в Азербайджане, Челекенском и Небид-Дагском заводах в Туркмении. На территории Азербайджана функционировало несколько таких заводов (самые крупные в Нефтчале, поселках Ени Сураханы и Раманы). Мощность дозы гамма-излучения на площадках бывших заводов по производству йода и брома в поселках Ени Сураханы и Раманы достигает 15,6 мкЗв/ч. Аналогичная ситуация на не работающем с 1983 г. йодобромном заводе в Нефтчале [56, 57].

На йодном заводе в г. Троицк (Краснодарский край) за 30 лет работы накопилось около 5000 т отходов, сопоставимых по удельной активности с уран-ториевой рудой с концентрациями урана 23 Бк/г и тория 24 Бк/г. На йодобромном производстве в Пермском крае в твердых отходах удельная активность ^{226}Ra достигает 25 Бк/г, ^{228}Ra – 27 Бк/г, ^{228}Th – 17 Бк/г. Мощность экспозиционной дозы в местах их складирования достигает 1480 мкР/ч. Коэффициент накопления радия в осадках оценивается величиной $(1-1,3) \cdot 10^4$. На Черкашинском месторождении йодных вод в Томской области концентрация радия в сбросных водах оценивается величиной 0,8–2,0 Бк/л, а удельная активность твердых отходов достигает 25 кБк/кг по ^{226}Ra и 1,3 кБк/кг по ^{210}Po [58–61].

Производственные отходы при добыче и сжигании углей

Сжигание углей является одним из главных источников поступления природных радионуклидов в окружающую среду. Коэффициент обогащения угольной золы природными радионуклидами имеет широкий диапазон значений и может составлять: 1–10 для ^{238}U и ^{232}Th , 5–15 для ^{226}Ra , 30–200 для ^{210}Po , 20–120 для ^{210}Pb , 10–50 для ^{40}K [62–64].

Для ряда месторождений коэффициенты обогащения не являются постоянной величиной и могут различаться для углей разных пластов и горизонтов, в результате часть зол от сжигания этих углей оказывается с повышенным содержанием природных радионуклидов. Особенностью углей Уртуйского месторождения являются вариации содержания природных радионуклидов более чем в 100 раз. Часть углей с повышенным содержанием природных радионуклидов, так называемых комплексных с удельной активностью более 1230 Бк/кг, складирована в специальном отвале и покрывается инертным материалом (ПГС, глина и т.п.). Общая площадь участков складирования комплексного угля на нескольких отвалах составляет 76 тыс. м². До 1995 г. в специальных отвалах с прикрытием их поверхности инертным материалом из вскрышных пород было складировано 750 тыс. т углей. При сжигании этого угля могло бы образоваться более 100 тыс. т золы и шлака, которые классифицировались бы как низкоактивные радиоактивные отходы, требующие специальных условий обращения [65–68].

В бурых углях Итатского месторождения также выявлена неравномерность распределения природных радионуклидов [69] и повышенное содержание урана – до 1,75 кБк/кг. В золошлаковом материале, образующемся при сжигании такого угля, содержание урана составляет 11,4 кБк/кг [69]. По данным [63, 64], коэффициент обогащения золы от сжигания углей Итатского месторождения сильно варьирует от партии к партии и составляет от 5 до 10, а удельная активность ^{226}Ra в золе может достигать 33 кБк/кг. Величина $A_{\text{эфф}}$ в углях Итатского месторождения достигает 2,2 кБк/кг, в углях Черемховского месторождения составляет 0,25–2,5 кБк/кг, а Уртуйского – 0,15–12,6 кБк/кг.

Требования по ограничению облучения населения природными ИИИ

Международные рекомендации

В международных рекомендациях [23, 70, 71] и отечественных нормативных документах нормирование радиационной безопасности населения при воздействии техногенных и природных источников ионизирующего излучения раздельное. В международных основных нормах безопасности (Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3) введены три типа ситуаций облучения [71]:

- ситуации планируемого облучения;
- ситуации аварийного облучения;
- ситуации существующего облучения.

Облучение от природных (естественных) источников в целом рассматривается как ситуация существующего облучения. Однако Нормами [71] определено, что требования, относящиеся к ситуациям планируемого облучения, применяются к облучению от материала при осуществлении любой практической деятельности, если в этом материале концентрация активности какого-либо радионуклида из цепочек распада урана или тория превышает 1 Бк/г или концентрация активности ^{40}K превышает 10 Бк/г.

Следовательно, к ситуациям планируемого облучения относится (профессиональное облучение и облучение населения) обращение с материалами, содержащими

природные радионуклиды, при осуществлении любой практической деятельности, если в этих материалах удельная активность какого-либо радионуклида из цепочек распада урана или тория превышает 1 Бк/г или удельная активность ^{40}K превышает 10 Бк/г. Если удельная активность любых радионуклидов из цепочек распада урана или тория не превышает 1 Бк/г и удельная активность ^{40}K не превышает 10 Бк/г, то такое обращение переходит в ситуацию существующего облучения.

К ситуации существующего облучения относится и облучение населения, проживающего в районах размещения объектов уранового наследия, а также отвалов и хвостохранилищ, образовавшихся в результате добычи и извлечения драгоценных, редкоземельных металлов и минеральных веществ.

Требования отечественных нормативных документов по ограничению облучения населения природными ИИИ

Основные требования по ограничению облучения населения природными ИИИ изложены в Нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009), в Основных санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) с изменениями № 1 от 16 сентября 2013 г. и в Гигиенических требованиях по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: СанПиН 2.6.1.2800-10.

Пунктом 5.2.10 ОСПОРБ-99/2010 организации, добывающие и перерабатывающие руды с целью извлечения из них природных радионуклидов, а также организации, использующие эти радионуклиды, относятся к организациям, осуществляющим деятельность с использованием техногенных источников излучения. На них распространяются требования по обеспечению радиационной безопасности, изложенные в разделе III Правил «Радиационная безопасность персонала и населения при эксплуатации техногенных источников излучения». К таким видам практической деятельности относятся добыча, обогащение и переработка урановых руд, а также добыча, обогащение и извлечение радия. Следовательно, в отечественном законодательстве, как и в международных рекомендациях, на действующие предприятия по добыче и переработке урана и радия и на население, проживающее в районе их размещения, распространяются установленные для техногенного облучения дозовые пределы.

Облучение населения, проживающего в районах размещения объектов уранового наследия, а также отвалов и хвостохранилищ, образовавшихся в результате добычи и извлечения полезных ископаемых, относится к природному облучению.

В соответствии с п. 5.3.1 НРБ-99/2009, допустимое значение эффективной дозы, обусловленной суммарным воздействием природных источников излучения, для населения не устанавливается. Снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения.

Пунктом 5.1.1 ОСПОРБ-99/1010 определено, что требования по обеспечению радиационной безопасности населения распространяются на регулируемые природные источники ионизирующего излучения: изотопы радона и продукты их радиоактивного распада в воздухе помещений, гамма-излучение природных радионуклидов, содержащихся в строительных изделиях и материалах,

природные радионуклиды в питьевой воде, минеральных удобрениях и агрохимикатах, а также в продукции, изготовленной с использованием минерального сырья и материалов, содержащих природные радионуклиды.

Мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год.

Направления использования реабилитированных участков территории, зданий и сооружений

Для объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, после окончания мероприятий по их реабилитации наиболее вероятными направлениями их использования будут являться:

1. Неограниченное использование, в том числе для строительства новых и/или использования существующих зданий и сооружений любого назначения.
2. Использование в производственных целях, в том числе для строительства новых и использования существующих зданий и сооружений производственного назначения, а также дорожного строительства в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки.

Критерии радиационной безопасности

Критериями радиационной безопасности участков территории, зданий и сооружений, дезактивированных (реабилитированных) после загрязнения природными радионуклидами, в зависимости от дальнейшего направления использования, будут являться:

1. Для участков территории, зданий и сооружений, планируемых для неограниченного использования, в том числе для строительства новых и/или использования существующих зданий и сооружений любого назначения:
 - мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на территории не должна превышать 0,3 мкЗв/ч, а в помещениях зданий и сооружений она не должна превышать более чем на 0,3 мкЗв/ч гамма-фон на прилегающей территории;
 - эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$) в объектах среды обитания (участки территории, ограждающие конструкции зданий и сооружений) не должна превышать 370 Бк/кг;
 - плотность потока радона с поверхности грунта не должна превышать 80 мБк/(м²·с);
 - среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений зданий и сооружений не должно превышать 100 Бк/м³.
2. Для участков территории, зданий и сооружений, планируемых для использования в производственных целях, в том числе для строительства новых и использования существующих зданий и сооружений производственного назначения, а также дорожного строительства в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки:
 - мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения не должна превышать 0,6 мкЗв/ч;
 - эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$) в объектах среды обитания не должна превышать 740 Бк/кг;

- плотность потока радона с поверхности грунта не должна превышать 250 мБк/(м²·с);
- среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений производственных зданий и сооружений не должно превышать 150 Бк/м³.

Организация радиационного обследования реабилитированных объектов и территорий

Основной особенностью загрязнения окружающей среды природными радионуклидами на предприятиях ядерной и неядерных отраслей промышленности является то, что радиационный фактор представлен одними и теми же радионуклидами – радионуклидами уранового и ториевого рядов.

Цепочка распада U-природного представлена следующими радионуклидами – 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.

Цепочка распада Th-природного представлена следующими радионуклидами – Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0,36), Po-212 (0,64)

При обнаружении в отвалах, хвостохранилищах добычи драгоценных и редких металлов, в пластовых водах при нефтедобыче, в отходах водоподготовки Ra-226 его цепочку распада составляют следующие радионуклиды – Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210.

По данным [15, 22, 24], в формировании дозовых нагрузок от радона и его дочерних продуктов распада, преобладают три основных пути:

- вдыхание радионуклидов (ингаляция), определяющее около 38,8% дозы;
- потребление продуктов питания, определяющее около 1,2% дозы;
- внешнее облучение от поверхности почвы, определяющее около 60% дозы.

При формировании дозы за счет выделения радона из хвостохранилищ основную роль играет не радон, а его дочерние продукты распада [15, 22, 24], при том что на долю самого радона приходится порядка 0,017%. Наибольший вклад в дозу облучения из ДПР радона вносит Bi-214 и далее по убыванию → Pb-214 → Pb-210 → Po-210 → Bi-210 → Po-214 → Rn-222 → At-218.

После дезактивации площадки, консервации (захоронения) хвостохранилищ и реабилитации прилегающей территории производится заключительное радиационно-гигиеническое обследование. Целью этого обследования является оценка эффективности проведенных мероприятий и соответствия результатов их выполнения установленным критериям.

В результате изучения и анализа требований международных рекомендаций [70–71] и национальных нормативно-методических документов по радиационному обследованию радиоактивно загрязненных участков территории, зданий и сооружений нами определены основные контролируемые радиационные параметры [65, 72, 74–76]:

- мощность дозы гамма-излучения на территории объектов, на прилегающей территории, в зданиях и сооружениях;

- объемная активность аэрозолей в воздухе производственных помещений, на территории объектов и на прилегающей территории;

– ОА и ЭРОА радона и его дочерних продуктов распада в воздухе производственных помещений, на территории объектов и на прилегающей территории;

- плотность потока радона с поверхности почв и грунтов на территории объектов и на прилегающей территории;

– уровень радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды (почва, растительность, вода поверхностных водоемов) на прилегающей территории;

– содержание радионуклидов в воде водоотводящих канав, в грунтовых водах, водоносных горизонтах, открытых водоемах.

Методологической основой для проведения заключительного радиационно-гигиенического обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами, являются МУ 2.6.1.2398-08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности». Однако в МУ 2.6.1.2398-08 не рассматриваются вопросы организации и методы исследования уровня радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды (почвы, растительности, воды водоотводящих канав, открытых водоемов, водоносных горизонтов, грунтовых вод) на прилегающей территории.

В публикациях Н.К. Шандалы и др. [72–74] представлен опыт оценки влияния на население и окружающую среду Приаргунского производственного горно-химического объединения природных радионуклидов из отвалов пород, штолен, шахтных вод, хвостохранилища по различным каналам воздействия, таким как: γ -излучение на поверхности; ингаляционное облучение дочерними продуктами распада радона; потребление продуктов питания местного производства; ветровой и ливневый разнос радионуклидов; разнос радионуклидов поверхностным и грунтовыми водами. Объектами исследований были почва, пищевые продукты местного производства, объекты водной среды (донные отложения, озерная вода, водоросли). Проводились измерения объемной активности (ОА) радона в сооружениях и мощности дозы гамма-излучения на территории и в сооружениях. В пробах объектов окружающей и водной среды определялась удельная активность естественных радионуклидов (ЕРН) методами гамма-спектрометрии с использованием полупроводниковых и сцинтилляционных гамма-спектрометров. Определение активности ЕРН проводилось:

- ^{238}U по гамма-квантам дочернего нуклида ^{234}Pa с энергией 1001,03 кэВ;
- ^{226}Ra по излучению дочерних нуклидов ^{214}Bi (609,31, 1120,3 и 1764,49 кэВ) и ^{214}Pb (295,22 и 351,93 кэВ);
- ^{232}Th по излучению дочерних нуклидов ^{208}Tl (583,19 и 2614,53 кэВ), ^{212}Pb (238,63 и 300,09 кэВ) и ^{212}Bi (727,3 кэВ);
- ^{228}Ra по излучению дочернего нуклида ^{228}Ac (338,32; 463,1; 911,2 и 968,97 кэВ);
- ^{40}K по гамма-линии с энергией 1460,83 кэВ;
- ^{235}U по гамма-линии с энергией 185,7 кэВ с вычетом вклада гамма-квантов ^{226}Ra с энергией 186,2 кэВ.

Перед проведением измерений пробы выдерживались в течение 30–40 сут в герметичных емкостях для установления равновесия между дочерними и материнскими радионуклидами [72–74].

Методы исследований, представленные в публикациях Н.К. Шандалы и др. [72–74], могут быть использованы при обосновании организации и методологии проведения заключительного радиационно-гигиенического обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами.

Заключение

На основе обобщения и систематизации литературных данных по проблеме ликвидации уранового наследия, а также других видов практической деятельности, в результате которых образовались отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов, нами сделаны следующие выводы:

- шахты, рудники, промышленные площадки горно-химических комбинатов и гидрометаллургических заводов, отвалы и хвостохранилища урановых производств, добычи и переработки минерального сырья в настоящее время находятся в неудовлетворительном состоянии по радиационной безопасности;

- из-за разрушений или отсутствия барьеров, препятствующих распространению радионуклидов, происходит загрязнение природными радионуклидами объектов окружающей среды и облучение населения близко расположенных населенных пунктов;

- основными путями облучения населения от исследуемых объектов являются вдыхание радионуклидов (ингаляция), потребление продуктов питания и воды, внешнее облучение от поверхности почвы;

- радон (Rn^{222}) и его дочерние продукты распада (Po^{218} , Pb^{214} , Bi^{214} , Po^{214} , Pb^{210} , Bi^{210} , Po^{210} , At^{218}) вносят основной вклад в формирование дозы облучения и, соответственно, радиационных рисков для населения, проживающего вблизи объектов уранового наследия, и других видов практической деятельности, в результате которых образовались отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов.

В соответствии с отечественной нормативной базой, облучение населения, проживающего в районах размещения объектов уранового наследия, а также объектов неядерных отраслей промышленности по добыче и переработке минерального сырья, относится к природному облучению и подлежит регулированию в соответствии с подразделом 5.3 НРБ-99/2009 «Ограничение природного облучения» и V разделом ОСПОРБ-99/2010 «Радиационная безопасность при воздействии природных источников излучения».

Направлениями использования объектов и территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, после окончания мероприятий по их реабилитации будут являться неограниченное использование и использование в производственных целях.

Для неограниченного использования реабилитированных участков территории зданий и сооружений критериями будут являться требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 для строительства зданий жилищного и общественного назначения.

Критериями использования реабилитированных участков территории зданий и сооружений с остаточным загрязнением природными радионуклидами в производственных целях будут являться требования НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 для строительства производственных зданий и сооружений.

Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации / под ред. Большова Л.А., Лаверова Н.П., И.И. Линге. – Москва, 2015. – Т. 3. – 316 с.
2. Беляев, М.В. ФГУП «РОСПАО»: Проекты реабилитации / М.В. Беляев // Безопасность окружающей среды. – 2010. – № 3. – С. 45–52
3. Романович, И.К. Ликвидация ядерного наследия: радиационно-гигиенические критерии безопасности дезактивированных участков территории, зданий и сооружений / И.К. Романович // Здоровье населения и среда обитания. – 2018. – № 4 (301). – С. 21–26.
4. 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 [и др.] // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 6–15. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-6-15.
5. Романович, И.К. Научное обоснование подходов к организации и проведению радиационного обследования реабилитированных радиационных объектов / И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 90–102. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-3-90-102.
6. Голиков, В.Ю. Обоснование радиологических критериев использования территорий с остаточным радиоактивным загрязнением на основе дозового подхода / В.Ю. Голиков, И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 6–22. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-6-22.
7. Махмадалиев, Б.Н. Проблема рекультивации отвалов и радиоактивных отходов хвостохранилищ в Таджикистане / Б.Н. Махмадалиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. – 2017. – № 2-2. – С. 174–177.
8. Крупская, Л.Т. Обоснование экологической реабилитации территорий, подвергшихся воздействию объектов накопленного экологического ущерба (хвостохранилищ) в результате прошлой хозяйственной деятельности бывших горных предприятий в Дальневосточном федеральном округе (ДФО) / Л.Т. Крупская, Р.Г. Мелконян, Л.П. Майорова, Д.А. Голубев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 4. – С. 5–15.
9. Тен, О.Л. Радиоэкологическая характеристика объектов размещения радиоактивных отходов уранового производства и рекомендации по ее улучшению / О.Л. Тен // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 2. – С. 132–134.
10. Урановые хвостохранилища в Центральной Азии: национальные проблемы, региональные последствия, глобальное решение: информационные материалы к Бишкекской региональной конференции 21–24 апреля 2009 года. – 81 с. (проект).
11. Волков, В.Г. Реабилитация объектов переработки уранового сырья / В.Г. Волков, В.И. Павленко, А.В. Чесноков, А.Э. Арустамов, Д.В. Козырев, И.В. Пикулина / Безопасность окружающей среды. – №1. – 2008. – С. 60–62.
12. Назаров, Х.М. Экологические аспекты реабилитации урановых хвостохранилищ г. Истиклола Республики Таджикистан / Х.М. Назаров, Д.А. Саломов, Н. Хакимов, Н.Н. Рахматов, Э.А. Эрматов // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математи-

- ческих, химических, геологических и технических наук. – 2015. – № 2 (159). – С. 87-92.
13. Клочкова, Н.В. Комплексная радиационно-гигиеническая оценка окружающей среды отработанного уранового месторождения Табошар (Таджикистан) / Н.В. Клочкова, А.С. Салтыков, Г.И. Авдонин // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. трудов. – 2014. – С. 136-139.
 14. Амосов, П.В. К вопросу оценки интенсивности пыления хвостохранилищ / П.В. Амосов, А.А. Бакланов // Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-28): Сборник трудов 28 Международной научной конференции, Саратов, 22-24 апр., 2015, Ярославль, 2-4 июня, 2015, Рязань, 24-26 нояб., 2015. – Т. 1. – 2015. – С. 3-5.
 15. Лисиченко, Г.В. Мировой опыт реабилитации бывших урановых производств / Г.В. Лисиченко, В.Е. Ковач // Техногенно-экологична безпека та цивільний захист. – 2013, № 6. – С. 4-12.
 16. Алборов, И.Д. Оценка экологической обстановки в районе Унальского хвостохранилища / И.Д. Алборов, Ю.С. Бадтиев, Ф.К. Бадтиева, Ф.Г. Тедеева // Вестн. МАНЭБ. – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 9-17.
 17. Островский, Ю.В. Реабилитация техногенных водоемов урановых производств / Ю.В. Островский, Г.М. Заборцев, А.Б. Александров, А.В. Бабушкин, А.Л. Хлыгин, Н.Б. Егоров // Радиохимия. – 2010. – Т. 52, № 3. – С. 260-265.
 18. Войцехович, О.В. Проблемные вопросы реабилитации бывших урановых производств / О.В. Войцехович // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. – 2010. – №4. – С. 95-101.
 19. Шиганак, Ш.Б. Реабилитация территорий, подвергшихся деятельности урановых производств / Ш.Б. Шиганак, А.М. Айтиалиев, К.П. Маматов, А.И. Кислов, З.А. Разыков, Н.Х. Хакимов, М.М. Рузиев, В.Ф. Рязанцев / Седьмое заседание Комиссии стран-участников СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях 23 июня 2005, Киев. – 31 с.
 20. Дженбаев, Б.М. Проблемы радиоэкологии и радиационной безопасности бывших урановых производств в Кыргызстане / Б.М. Дженбаев, Б.К. Калдыбаев, Б.Т. Жолболдиев // Радиаци. биол. Радиоэкол. – 2013. – Т. 53, № 4. – С. 428-433.
 21. Агапов, А.М. Мониторинг состояния недр на объектах бывшего ЛПО «Алмаз» / А.М. Агапов, М.Л. Глинский, С.В. Святонец // Безопасность Окружающей Среды. – 2009. – №3. – С. 64-67.
 22. Лисиченко, Г.В. Урановые руды Украины / Г.В. Лисиченко, Ю.П. Мельник, О.Ю. Лисенко, Т.В. Дудар, Н.В. Никитина; под ред. Г.В. Лисиченка. – Киев: Наук. думка, 2010. – 214 с.
 23. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности «Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля». Руководство № RS-G-1.7. – Вена, 2006. – 31 с.
 24. Дурасова, Н.С. Оценка радиационной опасности объектов ядерно-топливного цикла на примере хвостохранилищ Приднепровского химического завода / Н.С. Дурасова, Г.Д. Коваленко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – Т. 30, № 3 (200). – С. 176-181.
 25. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения урановых шахт в Забайкалье / Н.К. Шандала, А.В. Титов, Е.А. Хохлова, Д.В. Исаев, С.Б. Золотухина, Л.А. Журавлева, В.В. Шлыгин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 59, № 4. – С. 5-8.
 26. Navrankova R., Havranek J., Kankovsky J., Repa L., Zolzer F. The radiological situation around the former uranium processing plant Mape Mydlovary, Czech Republic. Nuclear Technology & Radiation Protection, Vol. 30, No 2, pp. 132-138.
 27. Лисиченко, Э.П. Радиационно-гигиеническое обследование промышленных объектов неядерных технологий / Э.П. Лисиченко [и др.] // Радиационная гигиена: сб. науч. трудов. – СПб: ФГУН НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2006. – С. 242-251.
 28. Белозерцева, И.А. Воздействие разведки, добычи и переработки полезных ископаемых на почвы Сибири / И.А. Белозерцева, Н.И. Гранина // Фундаментальные исследования. – № 10. – 2015. – С. 238-242.
 29. Алборов, И.Д. Добыча полезных ископаемых и ее влияние на природную среду / И.Д. Алборов, Т.М. Тезиев, Ф.Г. Тедеева // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы 13 Международной конференции, Москва – Тбилиси, 15-21 сент., 2014. – 2014. – С. 308-309.
 30. Лисиченко, Э.П. Природные радионуклиды в производственных отходах предприятий неураниевых отраслей промышленности / Э.П. Лисиченко, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т.2, № 2. – С. 64-71.
 31. Лебедев, В.В. Радиационное загрязнение территории золотосеребряного месторождения «Клен» / В.В. Лебедев // Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2012, № 5. – С. 94-97.
 32. Алборов, И.Д. Экологическая опасность хвостохранилища Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината / И.Д. Алборов, Ю.Г. Статова, Ф.Г. Тедеева, В.В. Кантемиров // Вестн. МАНЭБ. – 2011. – Т. 16, № 2. – С. 18-21.
 33. Сивцева, А.В. Оценка радиационной активности отходов добычи алмазов для производства сварочных материалов / А.В. Сивцева, К.В. Степанова // Современные проблемы науки и образования. – 2007, № 6. – С. 56.
 34. Мельник, Н.А. Радиогеоэкологические проблемы эксплуатации и переработки редкометалльных месторождений Кольского полуострова / Н.А. Мельник // Матер. 2-й междунар. конф. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Томск, 2004. – С. 383-386.
 35. Radiation protection and NORM residue management in the titanium dioxide and related industries. — Vienna: IAEA, 2012. Safety reports series No. 76.
 36. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов по промпродуктам технологического цикла получения титана / С.М. Гращенко [и др.] // Радиохимия. – 1996. – Т. 38. – С. 172-182.
 37. Гращенко, С.М. О проблемах естественной радиоактивности в неядерной промышленности / С.М. Гращенко // Экологическая химия. – 1998. – № 7(4). – С. 268-277.
 38. Овсянникова, Т.М. Радиоактивность редкометалльных руд и продуктов их передела. Уровни, нормирование и контроль / Т.М. Овсянникова // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Матер. V междунар. конф. Томск, 2016. – С. 478-483.
 39. P.V. Shaw, J. Dunderdale. Experience from remediation of thorium contaminated sites: radiation protection and waste management issues. Proceedings of the VII international symposium on naturally occurring radiation material. China, 22-26 April 2013. IAEA Vienna, 2015, pp. 575-582.
 40. Корольков, А.Т. Монацитовая проблема города Балея / А.Т. Корольков // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2016. – № 1 (54). – С. 96-103.
 41. Нурмаматов, М.А. К вопросу об организационно-контрольных мерах охраны окружающей среды от загрязнений при добыче золота / М.А. Нурмаматов // Форум молодых ученых. – 2017. – № 11 (15). – С. 716-720.
 42. Осташ, С.В. О стратегии индустриализации обращения с нефтесодержащими отходами, загрязненными природными радионуклидами / С.В. Осташ, Д.И. Рогожин // ЭВР: Экол. вестн. России. – 2017. – № 8. – С. 28-32.
 43. Мустафин, С.К. Радиационный мониторинг объектов добычи углеводородов / С.К. Мустафин // Системы контроля окружающей среды – 2016. Тез. док. Междунар. науч.-технич. конф. – 2016. – С. 205.

44. Лебедев, В.А. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в нефтедобывающей промышленности России / В.А. Лебедев, В.С. Карабуца // Молодой ученый. – 2016. – №1 (105). – С. 257-261.
45. Миндияров, В.Р. Потенциальная опасность радиационного загрязнения компонентов окружающей среды отходами добычи углеводородов / В.Р. Миндияров // Технологии нефти и газа. – 2014, № 4 (93). – С. 8-11.
46. Билалов, Ф.С. Оценка воздействия объектов подготовки нефти на радиационную обстановку прилегающей территории / Ф.С. Билалов, О.Р. Бадрутдинов, О.Р. Баринаева, Р.С. Тюменев, П.Н. Кубарев, П.Н. Сабаев, З.С. Бадрутдинов // Нефт. х-во. – 2014. – № 7. – С. 60-62.
47. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes V I United Nations New York 2010.
48. International Atomic Energy Agency. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. Vienna, 2004.
49. European Commission. Nuclear Safety and the Environment. Radiological Impact due to Wastes containing Radionuclides from Use and Treatment of Water. Authors. J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Worner. Report EUR 19255 Directorate General Environment. May 2000.
50. Лисаченко, Э.П. Использование глубинных вод как объект радиационно-гигиенических исследований / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат // Радиационная гигиена: Сб. науч. трудов. – СПб: ФГУН НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева. – 2006. – С. 185-192.
51. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов уранового и ториевого рядов в процессе водоподготовки артезианской воды для питьевого водоснабжения / С.М. Гращенко, З.Г. Гритченко, Л.В. Шишкунова // Радиохимия. – 1997. – № 39. – С.476-479.
52. Hanslík, E. Juranová²²² Rn at a groundwater treatment plant. Proceedings of an International Symposium NORM VII Beijing, China, 22–26 April 2013 С 407-416.
53. Palomo M. [et al.]. Radiochemical characterization of the sludge from a treatment plant of potable water: Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19 – 22 March 2007). Poster 5-5. IAEA. Vienna, 2008.
54. Лисаченко, Э.П. Обоснование необходимости радиационного контроля систем и предприятий водоподготовки при использовании подземных вод / Э.П. Лисаченко // Сб. тез. науч.-практ. конф. Актуальные вопросы радиационной гигиены. – 2014. – С. 136-138.
55. Vaca F. [et al.]. Fluxes and enhancement of natural radionuclides in a pulp mill factory located in the south-west of Spain: Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19 – 22 March 2007). Poster 7-6. IAEA. Vienna, 2008.
56. P.W. Waggitt. A global overview of NORM residue remediation and global practice. Proceedings of the VI International Symposium on NORM held in Marrakesh, Morocco, 22–26 March 2010. Vienna IAEA 2011.
57. Манафлы, Р. Жить под радиацией / Р. Манафлы, Н. Алиев // Эхо. – №88(1569) 19 мая 2007: www.echo_az.com/archive/2007_05/1569 (дата обращения: 27.07.2018)
58. Лисаченко, Э.П. региональные особенности использования подземных вод как потенциального источника формирования радиационного фактора / Э.П. Лисаченко, Н.А. Королева // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, №1. – С. 113-122.
59. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов в технологическом процессе выделения йода из буровых вод воздушнодесорбционным методом / С.М. Гращенко, З.Г. Гритченко, Л.В. Шишкунова // Радиохимия. – 1997. – № 39. – С. 93-96.
60. Литвиненко, В.И. Комплексное освоение месторождений. / В.И. Литвиненко // Нефть. Газ. Промышленность. – 2006. – № 1 (21): <http://www.stroy-press.ru/print.php?id=6166> (дата обращения: 28.07.2018)
61. Кузнецов, П.И. Анализ возможности образования твердых радиоактивных отходов на Троицком йодном заводе в процессе производства йода при замене серной кислоты на соляную на стадии подкисления йод-бромной воды / П.И. Кузнецов [и др.] // АНРИ. – 2002. – Т. 1. – С. 23–32.
62. Мауричева, Т.С. Источники радиоактивного загрязнения окружающей среды при добыче и использовании каменного угля / Т.С. Мауричева, Г.П. Киселев // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. II Междунар. конф. Томск, 18-22 октября. – Томск: Тандем-Арт, 2004. – С. 367-370.
63. Лисаченко, Э.П. К вопросу о необходимости нормирования содержания природных радионуклидов в углях / Э.П. Лисаченко, Т.А. Кормановская, И.П. Стамат, С.М. Гращенко // Сб. трудов 4-го Междунар. Форума «Топливо-энергетический комплекс России: региональные аспекты», Санкт-Петербург, 6-9 апреля 2004 г. – С. 306-308.
64. Стамат, И.П. Проблемы использования ископаемых углей, создаваемые природными радионуклидами / И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Э.П. Лисаченко, С.М. Гращенко // Матер. II Междунар. Конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», Томск, 18-22 окт. 2004. – С. 569-573.
65. Овсейчук, В.А. Экологический мониторинг при добыче углей с повышенным содержанием ЕРН на примере Уртуйского месторождения в Забайкалье / В.А. Овсейчук, Д.А. Крылов, Г.П. Сидорова, Е.А. Мамаш // Вестник ЗабГУ. – 2013. – № 12 (103). – С. 39-46.
66. Сидорова, Г.П. Радиационно-гигиеническое качество углей Уртуйского месторождения: экологические проблемы и методы решения / Г.П. Сидорова // Горный журнал. – 2012. – № 8. – С. 26-28.
67. Овсейчук, В.А. Ураноносность бурых углей Забайкалья: монография / В.А. Овсейчук, Г.П. Сидорова. – ЗабГУ, 2012. – 196 с.
68. Сидорова, Г.П. Проблемы угольной энергетики, связанные с радиоактивностью углей / Г.П. Сидорова, В.А. Овсейчук, Д.А. Крылов // Вестник ЗабГУ. – 2013. – № 08 (99). – С. 38-45.
69. Волостнов, А.В. Уран и торий в углях Итатского месторождения Канско-Ачинского бассейна / А.В. Волостнов, С.И. Арбузов // Матер. III междунар. конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». Томск, 23-27 июня 2009. – С. 120-123.
70. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности «Освобождение площадок от регулирующего контроля после завершения практической деятельности». Руководство № WS-G-5.1.- Вена, 2008. – 42 с.
71. 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.
72. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения / Н.К. Шандала, А.В. Титов, С.М. Киселев, В.А. Серегин, Д.В. Исаев, М.П. Семенова // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2013. – Т. 9, № 4. – С. 824-827.
73. Шандала, Н.К. Радиоэкологическая обстановка в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения / Н.К. Шандала, М.П. Семенова, Д.В. Исаев, С.М. Киселев, В.А. Серегин, А.В. Титов, А.А. Филонова, Л.А. Журавлева, А.М. Маренный // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 4. – С. 14-18.

74. Шандала, Н.К. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения урановых шахт в Забайкалье / Н.К. Шандала, А.В. Титов, Е.А. Хохлова, Д.В. Исаев, С.Б. Золотухина, Л.А. Журавлева, В.В. Шлыгин // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т. 59, № 4. – С. 5-8.
75. Киселев, В.Я. Радиационный мониторинг на месторождениях твердых полезных ископаемых Байкальского региона / В.Я. Киселев, Л.В. Малевич // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 9. – С. 56-57.
76. Рыжаков, В.Н. О радиационном контроле объектов, загрязненных естественными радионуклидами в результате добычи углеводородов / В.Н. Рыжаков, Е.И. Крапивский, Д.А. Амосов, Н.А. Мац, И.М. Хайкович, Д.А. Черник // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 3. – С. 107-110.

Поступила: 01.08.2018 г.

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, 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

Кормановская Татьяна Анатольевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Королева Надежда Андреевна – старший научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Лисаченко Эльвира Павловна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Сапрыкин Кирилл Александрович – исполняющий обязанности заведующего лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Романович И.К., Кормановская Т.А., Королева Н.А., Лисаченко Э.П., Сапрыкин К.А. Научное обоснование методических подходов к организации и проведению заключительного радиационного обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 7-21. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-7-21

Scientific justification of the methodical approaches to the establishment and conduction of the conclusive radiation survey of the areas remediated after contamination with natural radionuclides

Ivan K. Romanovich, Tatyana A. Kormanovskaya, Nadezhda A. Koroleva, Elvira P. Lisachenko, Kirill A. Saprykin

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

According to the Federal target program "Provision of the nuclear and radiation safety in 2016-2020 and up to 2030", activities on the liquidation of the nuclear legacy are performed in the Russian Federation. The nuclear legacy includes mines, pits, industrial facilities, burrows and tailings of the uranium processing facilities (objects of uranium legacy), objects of extraction and processing of precious and rare elements and mineral ore, producing

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

the wastes with the increased concentration of natural radionuclides. Due to the damage or lack of the barriers, preventing the distribution of radionuclides, natural radionuclides contaminate the environment and expose the population residing in closely located communities. Radionuclides of radium (^{226}Ra and ^{228}Ra), radon (^{222}Rn) and their daughter have the main contribution to the doses and corresponding radiation risks to the public residing in a vicinity of such facilities. According to the Russian legislative documents, exposure of the public residing in the area of location of the objects of the uranium legacy and objects and territories, contaminated by the natural radionuclides due to the past activities of the non-nuclear facilities is attributed to the natural exposure with the subsequent compliance to the requirements of NRB 99/2009 and OSPORB 99/2010 on limitations of natural exposure. The main direction of the use of the objects and territories contaminated by the natural radionuclides due to the past activities of nuclear and non-nuclear facilities is their unlimited use for the industrial purposes. The main criteria for the unlimited use of remediated areas and territories of buildings and constructions are the requirements of NRB-99/2009 and OSPORB-99/2010 for the construction of the residential and public buildings. The criteria of NRB-99/2009 and OSPORB 99/2010 for the industrial buildings would be applied for the use of the remediated areas and territories of buildings and constructions with the residual contamination by the natural radionuclides.

Key words: deactivation, precious and rare metal mining, mineral ore mining, tailings, natural radionuclides, radiation control, remediation, technogenic radionuclides, uranium legacy, tailing dam, nuclear legacy.

References

1. The problems of nuclear legacy and the solutions. Decommissioning / Edited by L.A. Bolshov, N.P. Laverov, I.I. Linge. Moscow, 2015, vol. 3, 316 p. (In Russian)
2. Belyaev M.V. FGUP "ROSRAO": Remediation projects. Bezopasnost okruzhayushchey sredy = Safety of the environment, 2010, N 3, pp. 45-52. (In Russian)
3. Romanovich I.K. Liquidation of the nuclear legacy: radiation-hygienic safety criteria for the decontaminated sites of territories, buildings and constructions. Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya = Population Health and Life Environment, 2018, №4 №4 (301), pp. 21-26. (In Russian)
4. 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;9(4):6-15. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2016-9-4-6-15>
5. 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
6. Golikov V.Yu., Romanovich I.K. Justification for the radiological criteria for the use of areas with residual radioactive contamination based on the dose approach. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2017;10(4):6-22. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-6-22>
7. Makhmaliev B.N. The problem of the recultivation of the stockpiles and radioactive wastes from the tailings in Tadjikistan. Vestnik Tadjikskogo natsionalnogo universiteta = The Newsletter of the Tadjikistan national university. Series on social-economical and public sciences, 2017, № 2-2, pp. 174-177. (In Russian)
8. Krupskaya L.T., Melkonyan R.G., Mayorova L.P., Golubev D.A. Justification of the ecological rehabilitation of the territories impacted by the objects of the accumulated ecological hazard (tailings) as a result of the past anthropogenic activities of the former mining facilities in the Far-East Federal District (FEFD). Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal) = Mining information-analytical bulletin (scientific-technical journal), 2017, №4, pp. 5-15. (In Russian)
9. Ten O.L. The radioecological characteristic of the radioactive waste disposal sites of uranium production and recommendations for their improvement. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2015;8(2):132-134. (In Russian)
10. Uranium tailings in the Central Asia: national problems, regional consequences, global decision: information materials for the Bishkek regional conference 21-24 April 2009, 81 p. (project). (In Russian)
11. Volkov V.G., Pavlenko V.I., Chesnokov A.V., Arustamov A.E., Kozyrev D.V., Pikulina I.V. Rehabilitation of the objects of the uranium raw materials processing. Bezopasnost okruzhayushchey sredy = Safety of the environment, №1, 2008, pp. 60-62. (In Russian)
12. Nazarov Kh.M., Salomov D.A., Khakimov N., Rakhmatov N.N., Ermatov E.A. Ecological aspects of the remediation of the uranium tailings in Istikola city in the Republic of Tadjikistan. Izvestiya Akademii nauk Respubliki Tadjikistan = News of the academy of sciences of the Republic of Tadjikistan. Department of physical-mathematical, chemical, geological and technical sciences, 2015, №2 (159), pp. 87-92. (In Russian)
13. Klochkova N.V., Saltykov A.S., Avdonin G.I. Composite radiation-hygienic assessment of the environment of the Taboshar depleted uranium deposit (Tadjikistan). Actual issues of the ecology and environmental management. Proceedings, 2014, pp. 136-139. (In Russian)
14. Amosov P.V., Baklanov A.A. On the assessment of the intensity of the dusting of the tailings. Mathematical methods in equipment and technology (MMTT-28): Proceedings of the 28th International scientific conference, Saratov, 22-24 April 2015, Yaroslavl, 2-4 June 2015, Ryazan, 24-26 November 2015. Vol. 1, 2015, pp. 3-5. (In Russian)
15. Lisichenko G.V., Kovach V.E. The world experience of the remediation of the former uranium facilities. Technological-ecological safety and protection of the public, 2013, No 6, pp. 4-12. (in Ukr.) (In Russian)
16. Alborov I.D., Badtiev Yu.S., Badtieva F.K., Tedeeva F.G. Assessment of the ecological situation in the area of the Unal tailing. Vestnik MANEB = Newsletter of MANEB 2001, Vol. 16, № 2, pp. 9-17. (In Russian)
17. Ostrovsky Yu.V., Zabortsev G.M., Aleksandrov A.B., Babushkin A.V., Khlytin A.L., Egorov N.B. Remediation of the technogenic reservoirs of the uranium industry. Radiokhimiya = Radiochemistry, 2010, Vol. 52, № 3, pp. 260-265. (In Russian)
18. Voytekovich O.V. Problematic issues of the remediation of the former uranium facilities. Bezopasnost yadernykh tekhnologiy i okruzhayushchey sredy = Safety of the nuclear technologies and the environment, 2010, №4, pp. 95-101. (In Russian)
19. Shiganakov Sh.B., Aytaliev A.M., Mamatov K.P., Kislov A.I., Razykov Z.A., Khakimov N.Kh., Ruziev M.M., Ryazantsev V.F. Remediation of the territories, affected by the uranium indus-

- try. Seventh meeting of the Commission of the CIS countries-participants on the use of a nuclear energy in peaceful aims 23 June 2005, Kiev, 31 p. (In Russian)
20. Dzhenbaev B. M., Kaldbaev B. K., Zholboldiev B. T. Problems of the radioecology and radiation safety of the former uranium facilities in Kirgizstan. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Rad. biol. Rad. ecol.*, 2013, Vol. 53, № 4, pp. 428-433. (In Russian)
 21. Agapov A.M., Glinsky M.L., Svyatovets S.V. Monitoring of the mineral resources on the facilities of the former LPO "Almaz". *Bezopasnost Okruzhayushchey Sredy = Safety of the Environment*, 2009, № 3, pp. 64-67. (In Russian)
 22. Lisichenko G.V., Melnik Yu.P., Lysenko O.Yu., Dudar T.V., Nikitina N.V. Uranium ore of the Ukraine. Ed. By Lisichenko G.V. Kyiv, Nauk. Dumka, 2010, 214 p. (In Russian)
 23. IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7. Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance. Safety guide. Vienna, 2016, 31 p. (In Russian)
 24. Durasova N.S., Kovalenko G.D. Assessment of the radon hazards of the nuclear fuel cycle facilities on the example of the tailing of the Pridneprovsky chemical plant. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta = Scientific bill of the Belgorod state university. Series of Natural sciences*, 2015, Vol. 30, №3 (200), pp. 176-181. (In Russian)
 25. Shandala N.K., Titov A.V., Hohlova E.A., Isaev D.V., Zolotuhina S.B., Zhuravleva L.A., Shligin V.V. Radiation-hygienic monitoring in the area of location of the uranium mines in Zabaikalie region. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2014, Vol. 59, №4, pp. 5-8. (In Russian)
 26. Havrankova R., Havranek J., Kankovsky J., Repa L., Zolzer F. The radiological situation around the former uranium processing plant Mape Mydlovary, Czech Republic. *Nuclear Technology & Radiation Protection*, Vol. 30, No 2, pp. 132-138.
 27. Lisachenko E.P. Radiation-hygienic survey of the non-nuclear industrial facilities. *Radiation Hygiene: proceedings. Saint-Petersburg, NIIRG after P.V. Ramzaev*, 2006, pp. 242-251. (In Russian)
 28. Belozertseva I.A., Granina N.I. Impact of the survey, mining and processing of the natural resources on the Siberian soils. *Fundamentalnye issledovaniya = Fundamental research*, 2015, № 10, pp. 238-242. (In Russian)
 29. Alborov I.D., Teziev T.M., Tedeeva F.G. Mining of the natural resources and its impact on the environment. Resource-reproducing, low-waste and environmentally friendly technologies of the mineral resource exploration: Materials of the 13th International conference, Moscow-Tbilisi, 15-21 September 2014. 2014, pp. 308-309. (In Russian)
 30. Lisachenko E.P., Stamat I.P. Natural radionuclides in residues from non-nuclear industries. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2009;2(2):64-71. (In Russian)
 31. Lebedev V.V. Radioactive contamination of the territory of the gold-silver deposit "Klen". *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta = Newsletter of the Moscow region state university. Series natural sciences*, 2012, № 5, pp. 94-97. (In Russian)
 32. Alborov I.D., Statovaya Yu.G., Tedeeva F.G., Kantemirov V.V. Ecological hazards of the tailing of the Tirnauzskiy tungsten-molybdenum combine. *Vestnik MANEB = Newsletter fo MANEB*, 2011, Vol. 16, № 2, pp. 18-21. (In Russian)
 33. Sivtseva A.V., Stepanova K.V. Assessment of the radiation hazards of the waste from the processing of diamonds for the welding materials industry. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern issues of sciences and education*, 2007, № 6, 56 p. (In Russian)
 34. Melnik N.A. Radiogeoeological problems of maintenance and recycling of the rare metal deposits of the Kola peninsula. Materials of the 2nd international conference "Radioactivity and radioactive elements in the human environment". Tomsk, 2004, pp. 383-386. (In Russian)
 35. Radiation protection and NORM residue management in the titanium dioxide and related industries. — Vienna: IAEA, 2012. Safety reports series No. 76.
 36. Graschenko S.M. [et. al.] Deistribution of the natural radionuclides on the industrial products of the titanium processing technological cycle. *Radiokhimiya = Radiochemistry*, 1996, Vol. 38, pp. 172-182. (In Russian)
 37. Graschenko S.M. On the problems of the natural radioactivity in the non-nuclear industry. *Ekologicheskaya khimiya = Ecological chemistry*, 1998, №7(4), pp. 268-277. (In Russian)
 38. Ovsyannikova T.M. Radioactivity of the rare metal ores and their processing products. Levels, regulation and control. Materials of the V international conference. Tomsk 2016, pp. 478-483. (In Russian)
 39. P.V. Shaw, J. Dunderdale. Experience from remediation of thorium contaminated sites: radiation protection and waste management issues// Proceedings of the VII international symposium on naturally occurring radiation material. China, 22-26 April 2013. IAEA Vienna, 2015, pp. 575-582.
 40. Korolkov A.T. Monazit problem of the Baleya city. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy = News of the Siberian branch of RAEN. Geology, prospection and survey of the ore deposits*, 2016, № 1(54), pp. 96-103. (In Russian)
 41. Nurmamatov M.A. On the organization and control measures of the environmental protection from the gold mining. *Forum molodykh uchenykh = Young scientists forum*, 2017, № 11(15), pp. 716-720. (In Russian)
 42. Ostakh S.V., Rogozhin D.I. On the strategy of the industrialization of the management of the oil-containing waste, contaminated with the natural radionuclides. *EVR: Ekologicheskiy vestnik Rossii = Ecological newsletter of Russia*, 2017, № 8, pp. 28-32. (In Russian)
 43. Mustafin S.K. Radiation monitoring of the hydrocarbon prospecting facilities. Systems of the control of the environment, 2016. Abstracts of the proceedings of the International scientific-technical conference, 2016, 205 p. (In Russian)
 44. Lebedev V.A., Karabuta V.S. Problems of the provision of the radiation safety in the oil industry of Russia. *Molodoy uchenyy = Young scientist*, № 1(105), 2016, pp. 257-261. (In Russian)
 45. Mundiaryov V.R. Potential hazards of the radioactive contamination of the components of the environment with the hydrocarbon extraction waste. *Tekhnologii nefi i gaza = Technologies of oil and gas*, 2014, № 4(93), pp. 8-11. (In Russian)
 46. Bilalov F.S., Badrutdinov O.R., Barinova O.R., Tumenev R.S., Kubarev P.N., Sabaev P.N., Badrutdinov Z.S. Assessment of the impact of the oil preparation facilities on the radiation situation of the surrounding territories. *Neftyanoe khozyaystvo = Oil industry*, 2014, №7, pp. 60-62. (In Russian)
 47. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes VI, United Nations, New York, 2010.
 48. International Atomic Energy Agency. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. Vienna, 2004.
 49. European Commission. Nuclear Safety and the Environment. Radiological Impact due to Wastes containing Radionuclides from Use and Treatment of Water. Authors. J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Worner. Report EUR 19255 Directorate General Environment. May 2000.
 50. Lisachenko E.P., Stamat I.P. The use of a juvenile waters for the radiation-hygienic surveys. *Radiation hygiene: conference proceedings. Saint-Petersburg, NIIRG*, 2006, pp. 185-192. (In Russian)
 51. Graschenko S.M., Gritchenko Z.G., Shishkunova L.V. Distribution of natural radionuclides of uranium and thorium types during the treatment of deep-well waters for the food

- water supply. Radiokhimiya = Radiochemistry, 1997, № 39, pp. 476-479. (In Russian)
52. Hansl k, E. Juranov ²²²Rn at a groundwater treatment plant. Proceedings of an International Symposium NORM VII Beijing, China, 22–26 April 2013, pp. 407-416.
 53. Palomo M. [et al.]. Radiochemical characterization of the sludge from a treatment plant of potable water: Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19 – 22 March 2007). Poster 5-5. IAEA. Vienna, 2008.
 54. Lisachenko E.P. Justification of the necessity of the radiation control of the water treatment systems and facilities for the deep-water use. Actual questions of radiation hygiene. Conference proceedings. Saint-Petersburg, 2014, pp. 136-138. (In Russian)
 55. Vacaa F. [et al.]. Fluxes and enhancement of natural radionuclides in a pulp mill factory located in the south-west of Spain: Proc. of the 5 Int. Symp. in Seville (19 – 22 March 2007). Poster 7-6. IAEA. Vienna, 2008.
 56. P.W. Waggitt. A global overview of NORM residue remediation and global practice. Proceedings of the VI International Symposium on NORM held in Marrakesh, Morocco, 22–26 March 2010. Vienna IAEA 2011. P
 57. Manafly R., Aliev N. Live under the radiation. Ekho = Echo, № 88 (1569), 19 May 2007. – Available on: www.echo_az.com/archive/2007_05/1569 (Accessed: 27.07.2018). (In Russian)
 58. Lisachenko E.V., Koroleva N.A. Regional features of the use of groundwater as a potential source of the formation of the radiation factor. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018;11(1):113-122. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-113-122>
 59. Graschenko S.M., Gritchenko Z.G., Shishkunova L.V. Distribution of natural radionuclides in the process of the excretion of iodine from the drill waters using air-desorbition method. Radiokhimiya = Radiochemistry, № 39, pp. 93-96. (In Russian)
 60. Litvinenko V.I. Complex exploration of the deposits. Neft. Gaz. Promyshlennost = Oil. Gas. Industry, 2006, № 1(21). – Available on: <http://www.stroy-press.ru/print.php?id=6166> (Accessed: 28.07.2018). (In Russian)
 61. Kuznetsov P.I. Analysis of the buildup of the solid radioactive wastes in the Troitsk iodine factory in the process of iodine production with the substitution of sulfuric acid by the chloric acid on the stage of acidification of the iodine-bromide water. ANRI = ANRI, 2002, Vol. 1, pp. 23-32. (In Russian)
 62. Mauricheva T.S., Kiselev G.P. Sources of the radioactive contamination of the environment at the extraction and use of mineral coal. Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Proceedings of the II International conference. Tomsk, 18-22 October 2004, 2004, pp. 367-370. (In Russian)
 63. Lisachenko E.P., Kormanovskaya T.A., Stamat I.P., Graschenko S.M. On the necessity of the regulation of the concentration of natural radionuclides in coals. Proceedings of the 4th International Forum "Fuel and energy complex of Russia: regional aspects". St-Petersburg, 6-9 April 2004, pp. 306-308. (In Russian)
 64. Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Lisachenko E.P., Graschenko S.M. Problems of the use of the fossil coals due to the natural radionuclides. Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Proceedings of the II International conference. Tomsk, 18-22 October 2004, pp. 569-573. (In Russian)
 65. Ovseychuk V.A., Krylov D.A., Sidorova G.P., Mamash E.A. Ecological monitoring in the process of extraction of the coals with increased concentration of natural radionuclides on the example of Urtuiskoe deposit in Zabaikalye. Vestnik ZabGU = Newsletter of ZabGU, 2013, № 12 (103), pp. 39-46. (In Russian)
 66. Sidorova G.P. Radiation-hygienic quality of the coals from Urtuiskoe deposit: ecological problems and solutions. Gornyy zhurnal = Mountain journal, 2012, № 8, pp. 26-28. (In Russian)
 67. Ovseychuk V.A., Sidorova G.P. Uranium concentrations in the brown coals in Zabaykalye: monography. ZabGU, 2012, 196 p. (In Russian)
 68. Ovseychuk V.A., Sidorova G.P., Krylov D.A. Problems of coal energy due to the radioactivity of the coals. Vestnik ZabGU = Newsletter of ZabGU, 2013, № 08 (99), pp. 38-45. (In Russian)
 69. Volostnov A.V., Arbutov S.I. Uranium and thorium in the coals of Itatskoye deposit of Kansk-Achinsk basin. Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Proceedings of the III International conference. Tomsk, 23-27 June 2009, pp. 120-123. (In Russian)
 70. IAEA safety standards series no. Ws-g-5.1 release of sites from regulatory control on termination of practices. Safety guide. Vienna, 2008, 42 p. (In Russian)
 71. 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.
 72. Shandala N.K., Titov A.V., Kiselev S.M., Seregin V.A., Isaev D.V., Semenova M.P. Radiation-hygienic monitoring in the area of the Priargunskiy industrial mining-chemical combine. Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal = Saratov scientific-medical journal, 2013, Vol. 9, № 4, pp. 824-827. (In Russian)
 73. Shandala N.K., Semenova M.P., Isaev D.V., Kiselev S.M., Seregin V.A., Titov A.V., Filonova A.A., Zhuravleva L.A., Marennyy A.M. Radioecological situation in the area of the Priargunskiy industrial mining-chemical combine. Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitation, 2014, Vol. 93, № 4, pp. 14-18. (In Russian)
 74. Shandala N.K., Titov A.V., Khokhlova E.A., Isaev D.V., Zolotukhina S.B., Zhuravleva L.A., Shlygin V.V. Radiation-hygienic monitoring in the area of the uranium mines in Zabaykalye. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety, 2014, Vol. 59, № 4, pp. 5-8. (In Russian)
 75. Kiselev V.Ya., Malevich L.V. Radiation monitoring on the deposits of the solid mineral resources of the Baykal region. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances of the modern natural science, 2005, № 9, pp. 56-57. (In Russian)
 76. Ryzhakov V.N., Krapivsky E.I., Amosov D.A., Mats N.A., Khaykovich I.M., Chernik D.A. On the radiation control of the sites, contaminated with the natural radionuclides due to the hydrocarbon extraction. Neftyanoe khozyaystvo = Oil economy, 2002, № 3, pp. 107-110. (In Russian)

Received: August 01, 2018

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)

Tatyana A. Kormanovskaya – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the 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

Nadezhda A. Koroleva – Senior Researcher, Natural Sources Dosimetry Laboratory, 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

Elvira P. Lisachenko – Candidate of Technical Sciences, Leading Scientific Worker, Natural Sources Dosimetry Laboratory, 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

Kirill A. Saprykin – Acting head of the laboratory of the natural sources dosimetry 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

For citation: Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., Koroleva N.A., Lisachenko E.P., Saprykin K.A. Scientific justification of the methodical approaches to the establishment and conduction of the conclusive radiation survey of the areas remediated after contamination with natural radionuclides. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol.11, No 3, pp.7-21 (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-7-21