Обоснование методологических и методических подходов к оценке доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия

И.К. Романович, Т.А. Кормановская, Н.А. Королева, К.А. Сапрыкин

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

Для принятия решения о необходимости проведения реабилитационных мероприятий или применения мер защиты населения, а также о соответствии реабилитированных участков территории установленным критериям или референтным уровням требуется корректная оценка доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия. Нормативного документа, регламентирующего оценку доз облучения этой категории населения, в настоящее время не существует. В результате анализа нормативно-методических документов и научных публикаций по радиационному обследованию участков территории, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и оценки доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационных объектов, на радиоактивно загрязненных территориях и облучающегося в повышенных дозах природными радионуклидами, установлено, что применяемые в этих методических указаниях подходы, модели и формулы расчета доз облучения от техногенных и природных радионуклидов могут быть применимы для населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия. При радиационном обследовании ограниченных по масштабам участков территории (получении исходных данных для расчетов) количество контрольных точек измерения и отбираемых проб должно быть достаточным для достоверной оценки доз облучения населения.

Ключевые слова: ядерное наследие, радиационное наследие, реабилитация, дозы облучения, техногенные радионуклиды, природные радионуклиды.

Введение

Ядерное и радиационное наследие страны приводит к дополнительному облучению населения, проживающего в зоне их влияния [1–5].

В настоящее время существует значительное количество методических указаний и рекомендаций по радиационному обследованию участков территории, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и оценке доз облучения населения, проживающего в зонах наблюдения радиационных объектов (МР 2.6.1.0063-12), на радиоактивно загрязненных территориях (МУ 2.6.1.2153-06, МУ 2.6.1.2003-05, МР 2.6.1.0006-10) и облучающихся в повышенных дозах природными радионуклидами (МУ 2.6.1.2397-08, МУ 2.6.1.1088-02). Однако облучение населения, проживающего вблизи объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, имеет свои особенности, а нормативного документа, регламентирующего оценку доз облучения этой категории населения, в настоящее время не существует.

Такой нормативный документ необходим для корректной оценки доз облучения населения при принятии решения о необходимости проведения реабилитационных мероприятий или применения мер защиты населения и при принятии решения о соответствии реабилитированных участков территории установленным критериям или референтным уровням. Проведение реабилитационных мероприятий промышленных площадок объектов ядерного наследия должно проводиться, если облучение населения при их использовании превысит 0,3 мЗв/год (критерий освобождения от регулирующего (радиационного) контроля) [6–9]. Применение мер защиты в отношении населения, проживающего в зоне влияния объекта ядерного или радиационного наследия, на радиоактивно загрязненных территориях проводится при превышении критерия в 1 мЗв/год [10].

Цель исследования – разработка и обоснование методологических и методических подходов к оценке доз облучения населения, проживающего вблизи объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности

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

предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, с использованием результатов анализа существующих методических документов по оценке доз облучения населения и научных публикаций по данному вопросу.

Краткая характеристика радиационной обстановки и путей облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия

Характеристика объектов ядерного и радиационного наследия и радиационной обстановки на площадках их размещения, доз облучения населения, проживающего вблизи этих объектов, а также на радиоактивно загрязненных территориях нами дана в предыдущих публикациях [2, 4, 11–16].

На основе анализа источников ионизирующего излучения, выявленных на объектах ядерного наследия и на прилегающих территориях, установлен перечень основных радионуклидов, обуславливающих облучение населения, проживающего в зоне их влияния. К таким основным радионуклидам относятся: H-3, C-14, Fe-55, Co-60, Sr-90, Sb-125, Cs-137, Ra-226, Th-232, U-234, U-238, U-природный, Pu-239, Pu-240, Am-241 [2, 7].

Загрязнение окружающей среды природными радионуклидами на предприятиях ядерной и неядерных отраслей промышленности представлено радионуклидами уранового и ториевого рядов [4].

При радиоактивном распаде U-природного образуются следующие дочерние радионуклиды – Th-234, Ra-234m, U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210 [4].

При радиоактивном распаде Th-природного образуются следующие дочерние радионуклиды – Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (0.36), Po-212 (0.64) [4].

Установлено, что население, проживающее вблизи объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, подвергается облучению по всем известным путям облучения:

- внешнему облучению от радионуклидов, содержащихся в почве или конструкциях зданий;
- внутреннему облучению за счет ингаляции радионуклидов, находящихся в воздухе в результате их ресуспензии, и за счет радона;
- внутреннему облучению за счет поступления радионуклидов в организм с продуктами питания (растительно-го и животного происхождения) и питьевой водой.

Следовательно, методический документ по оценке доз облучения населения, проживающего вблизи объектов и территорий, загрязненных техногенными и природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерных отраслей промышленности, должен определять

для всех перечисленных выше источников и путей облучения:

- перечни необходимых для расчета доз исходных данных;
- методику радиационного контроля с целью их получения;
- модели формирования доз и полученные на их основе расчетные формулы.

Кроме того, должна быть обеспечена возможность расчета средней годовой эффективной дозы облучения критической группы населения и средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенного пункта.

Оценка доз внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в объектах внешней среды

В МР 2.6.1.0063-12¹ рассматриваются следующие модели внешнего облучения:

- от подстилающей поверхности;
- от радиоактивного облака;
- при погружении в загрязненную радионуклидами воду и при нахождении на поверхности воды (на лодке и т.п.);
- от почвы, загрязненной при разливах рек и при использовании загрязненной воды для полива сельскохозяйственных и огородов.

Суммарная доза техногенного внешнего облучения от подстилающей поверхности определяется следующими основными компонентами:

- гамма-излучением Cs-137, выпавшего на поверхность земли в результате испытаний ядерного оружия (глобальные выпадения);
- гамма-излучением Cs-137 «чернобыльского» происхождения (остальные радионуклиды к настоящему времени либо распались, либо их вкладом в дозу внешнего облучения можно пренебречь);
- гамма-излучением локального радиоактивного загрязнения за счет работы радиационных объектов.

В качестве базовой модели используется модель облучения человека на открытой местности. Величина средней годовой эффективной дозы i -й группы населения (СГЭД i -й группы населения при облучении от подстилающей поверхности гамма-излучением k -го радионуклида) $E_{i,\varepsilon}^k$ определяется следующим образом:

$$E_{i,\varepsilon}^k = e_{i,\varepsilon}^k \cdot \sigma_k, \text{ мкЗв/год, (1)}$$

где, $e_{i,\varepsilon}^k$ – дозовый коэффициент при внешнем облучении от подстилающей поверхности i -й группы населения гамма-излучением k -го радионуклида, (мкЗв/год)/(кБк/м²);

σ_k – поверхностная активность k -го радионуклида на почве, кБк/м².

Для получения полной дозы внешнего облучения i -й группы населения необходимо с использованием выражения (1) рассчитать вклады в дозу внешнего облучения всех входящих в состав радиоактивного загрязнения техногенных радионуклидов и просуммировать их.

¹ МР 2.6.1.0063-12. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. – 55 с. [MR 2.6.1.0063-12 Control of the doses of the public residing in a surveillance zone of the radiation facility in normal operation situation and radiation accidents. Methodical recommendations. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2013, 55 p.]

Далее в МУ 2.6.1.0063-12 приводятся значения антропогенных факторов уменьшения дозы, значения дозовых коэффициентов для расчета СГЭД при облучении человека от радиоактивного облака (на открытой местности), значения дозовых коэффициентов для расчета СГЭД при погружении в загрязненную радионуклидами воду и при нахождении на поверхности воды, значения дозовых коэффициентов для расчета СГЭД внешнего облучения от почвы на берегах рек, подвергшихся загрязнению, и при использовании загрязненной воды для полива сельскохозяйственных и огородов.

Широкий спектр рассмотренных ситуаций облучения и техногенных радионуклидов позволяет использовать приведенные в данном документе модели облучения при формировании методического документа по оценке доз облучения населения, проживающего вблизи объектов ядерного наследия. Но все эти модели ориентированы только на загрязнение территории выбросами и сбросами радиационного объекта, что не в полной мере соответствует ситуациям облучения на объектах ядерного наследия.

В МУ 2.6.1.2003-05² используется следующая градация НП по типам:

– тип I (село или поселок городского типа): населенный пункт с числом жителей не более 10 тыс. человек, в котором большинство домов одноэтажные с личными подсобными хозяйствами (ЛПХ);

– тип II (поселок городского типа или город): населенный пункт с числом жителей не более 100 тыс. человек, в котором, наряду с одноэтажными, имеются многоэтажные дома без ЛПХ и значительная часть дозообразующих пищевых продуктов приобретается в торговой сети;

– тип III (город): населенный пункт, в котором большая часть жителей проживает в многоэтажных домах без ЛПХ, приобретает пищевые продукты в торговой сети, а большая часть улиц и дорог имеет твердое покрытие.

Содержание и объем текущего радиационного мониторинга, а также выбор способа расчета доз определяются уровнями облучения критических групп жителей населенных пунктов. В соответствии с этим все НП, расположенные на загрязненных территориях, подразделяются на две группы:

– НП группы 1: населенные пункты, где предварительная оценка СГЭД критической группы населения ($E_{КГр}$) составляет величину менее 1,0 мЗв/год;

– НП группы 2: населенные пункты, где предварительная оценка $E_{КГр}$ составляет величину, равную или большую 1,0 мЗв/год.

В соответствии с МУ 2.6.1.2003-05 оценку СГЭД внешнего облучения критической (по внешнему облучению) группы населения для НП группы 1 выполняют путем модельных расчетов. Исходными данными для расчета являются средняя величина поверхностной активности ^{137}Cs в почве на территории НП (по данным Росгидромета) и структура жилого фонда, характерная для НП данного типа.

Сначала определяют среднюю годовую эффективную дозу внешнего облучения жителей НП ($E_{НП}^{ext}$) по формуле:

$$E_{НП}^{ext} = k_y \cdot \sigma_{137} \cdot \text{мЗв/год}, \quad (2)$$

где, σ_{137} – среднее значение поверхностной активности ^{137}Cs в почве на территории данного НП в рассматриваемом году (по данным Росгидромета), кБк/м²;

k_y – дозовый коэффициент, мЗв · м²/(кБк · год).

Численные значения коэффициентов k_y на период 2012–2020 гг. приведены в таблице 6.1 МУ 2.6.1.2003-05. Они определены для усредненной структуры жилого фонда, характерной для средней полосы Российской Федерации:

– НП типа I: 60% населения проживает в одноэтажных деревянных домах, 40% – в одноэтажных каменных домах;

– НП типа II и III: 20% населения проживает в одноэтажных деревянных домах, 40% – в одноэтажных каменных домах, 40% – в многоэтажных домах.

Если структура жилого фонда в населенном пункте существенно отличается от приведенной выше, то для выполнения дозовых расчетов используют данные о фактической структуре жилого фонда в этом НП. В этом случае $E_{НП}^{ext}$ определяют согласно формуле:

$$E_{НП}^{ext} = \sigma_{137} \cdot \sum_{k=1} w_k \cdot k_{jk} \cdot \text{мЗв/год}, \quad (3)$$

где, w_k – доля населения, проживающего в домах k -го типа (одноэтажных деревянных, одноэтажных каменных, многоэтажных), отн. ед.;

k_{jk} – дозовый коэффициент, мЗв × м²/(кБк × год).

Численные значения коэффициентов k_{jk} на период 2012–2020 гг. приведены в таблице 6.2 МУ 2.6.1.2003-05.

В НП группы 2 величину $E_{НП}^{ext}$ рассчитывают по формуле (3) с использованием фактических данных о структуре жилого фонда в населенном пункте.

СГЭД внешнего облучения критической (по внешнему облучению) группы населения ($E_{КГр}^{ext}$) для населенных пунктов типа I определяют согласно выражению:

$$E_{КГр}^{ext} = 1,8 \cdot E_{НП}^{ext} \quad (4)$$

а для населенных пунктов типов II или III – согласно выражению:

$$E_{КГр}^{ext} = 2,0 \cdot E_{НП}^{ext} \quad (5)$$

Таким образом, в МУ 2.6.1.2003-05 дана подробная методология учета антропогенных факторов при проведении дозовых оценок, в том числе при определении средних доз критической группы населения, но все это представлено только для радиоактивного загрязнения ^{137}Cs . Кроме того, оценка дозы облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационных объектов и на радиоактивно загрязненной территории, в соответствии с действующими нормативными документами производится только за счет техногенных радионуклидов, без учета вклада природных.

² МУ 2.6.1.2003-05. Оценка средних годовых доз облучения критических групп жителей населенных пунктов РФ, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. – 19 с. [МУ 2.6.1.2003-05. Assessment of the mean annual doses of the critical groups of the population of the residential areas of the Russian Federation radioactively contaminated after the Chernobyl NPP accident. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2005, 19 p.]

Оценка доз внутреннего облучения

Оценка доз внутреннего облучения производится по набору моделей, соответствующих количеству путей внутреннего облучения. В МР 2.6.1.0063-12 рассматриваются следующие потенциально возможные критические группы населения: представители взрослого населения (> 17 лет), дети в возрасте 8–12 лет и дети младшего возраста (1–2 года). Каждая из моделей включает свой дозовый коэффициент, связывающий концентрацию радионуклидов в объектах окружающей среды с характеристикой облучения человека – эффективной дозой. Дополнительными данными для расчета ингаляционного поступления радионуклидов в организм человека является среднегодовой объем вдыхаемого воздуха, а для расчета поступления радионуклидов в организм человека с продуктами питания и водой – их годовое потребление. Годовое потребление продуктов питания должно быть оценено на основании региональных данных.

В МР 2.6.1.0063-12 рассматриваются следующие модели внутреннего облучения:

- пероральный путь, т.е. внутреннее облучение за счет поступления техногенных радионуклидов при потреблении питьевой воды из источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, использующих воду поверхностных водоемов, а также при потреблении пищевых продуктов, загрязненных в данной местности вследствие выбросов радиационного объекта;

- ингаляционный путь облучения, т.е. внутреннее облучение от поступления радионуклидов в организм человека через органы дыхания;

- ингаляционный путь облучения в результате вторичного подъема выпавших радионуклидов (ресуспензия).

По результатам анализа сведений об источниках выброса устанавливают перечень радионуклидов, выбрасываемых в атмосферный воздух, химическую форму веществ, в виде которых эти радионуклиды поступают в окружающую среду, и дисперсный состав выбрасываемых аэрозолей. Элементный состав выброса, дисперсный состав выбрасываемых аэрозолей и химическую форму радионуклидов следует принимать во внимание при последующих оценках их миграционной способности в окружающей среде, а также в ряде случаев при определении дозовых коэффициентов.

Дозу внутреннего облучения за счет перорального поступления радионуклидов с пищей и водой оценивают по формуле:

$$E_{i,ing}^{int} = \sum_k \sum_j e_{i,ing}^k \cdot V_{ij} \cdot S_{kj}, \text{ мЗв/год, (6)}$$

Где, $e_{i,ing}^k$ – зависящий от возраста дозовый коэффициент для k -го радионуклида в случае его перорального поступления в организм человека из i -й группы населения, мЗв/Бк;

V_{ij} – годовое потребление j -го продукта (питьевой воды и основных пищевых продуктов) для i -й группы населения, кг/год;

S_{kj} – среднегодовая удельная активность k -го радионуклида в j -м пищевом продукте, Бк/кг.

Значения дозовых коэффициентов $e_{i,ing}^k$ представлены в приложении 2 НРБ-99/2009 для критических возрастных групп населения.

При отсутствии результатов измерений ожидаемая удельная активность радионуклида в пищевом продукте, производимом в ЗН радиационного объекта, может быть оценена на основе данных о поверхностной активности радионуклида на почве и численных значений коэффициентов перехода радионуклида из почвы в растительность и пищевые продукты.

Численные значения коэффициентов перехода в растительность и пищевые продукты в зависимости от типа почв для наиболее значимых и биологически активных (т.е. включающихся в миграционную цепочку почва – растение – животное – человек) долгоживущих радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr приведены в таблицах 6.9 и 6.10 МР 2.6.1.0063-12.

При отсутствии измерений для оценки значения ожидаемой удельной активности радионуклидов в рыбе в водоемах ЗН используют значения равновесных отношений удельных активностей радионуклидов в пресноводной рыбе к их объемным активностям в воде (коэффициент накопления), представленных в таблице 6.12 МР 2.6.1.0063-12.

Для оценки дозы внутреннего облучения по ингаляционному пути поступления радионуклидов в организм человека используют формулу:

$$E_{i,inh}^{int} = \sum C_{k,a} \cdot Br_i \cdot e_{i,inh}^k \cdot [(1 - F_i) + 0,3 \cdot F_i], \text{ мЗв/год, (7)}$$

где, $e_{i,inh}^k$ – дозовый коэффициент для k -го радионуклида и представителей i -й группы населения в случае ингаляционного поступления, мЗв/Бк;

Br_i – зависящий от возраста человека среднегодовой объем вдыхаемого воздуха для i -й группы населения, м³/год (принимается равным: 1900 м³/год – для детей 1–2 лет, 5200 – для детей в возрасте 8–12 лет и 8100 – для взрослых);

$C_{k,a}$ – среднегодовая объемная активность k -го радионуклида в приземном слое воздуха, Бк/м³;

F_i – годовая доля времени, в течение которого представитель i -й группы населения находится внутри помещений, отн. ед., представлены в таблицах 6.6, 6.7 рассматриваемых рекомендаций;

0,3 – принятое отношение объемных активностей радионуклидов в воздухе внутри помещения и вне помещения.

Значения дозовых коэффициентов $e_{i,inh}^k$ представлены в приложении 2 НРБ-99/2009 для критических возрастных групп населения.

В соответствии с МУ 2.6.1.2003-05 оценку СГЭД внутреннего облучения выполняют одним из двух способов.

Первый способ основан на использовании результатов СИЧ-измерений жителей данного НП. Расчет средней по НП дозы внутреннего облучения населения производится по формуле:

$$E_{HH}^{int} = k_d \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i / M_i), \text{ мЗв/год, (8)}$$

где, k_d – дозовый коэффициент; $k_d = 2,3 \text{ мЗв} \times \text{кг}/(\text{кБк} \times \text{год})$;

Q_i – содержание ^{137}Cs в организме i -го человека по данным СИЧ-измерения, кБк;

M_i – масса тела i -го человека, кг;

n – количество обследованных на СИЧ жителей.

В связи с существующей сезонной зависимостью содержания ^{137}Cs в организме для корректной оценки среднего за год содержания при однократном (один раз в течение года) измерении на СИЧ необходимо полученные результаты умножить на поправочные коэффициенты, учитывающие эту зависимость. Поправочные коэффициенты должны быть получены из результатов СИЧ-измерений, проведенных в разные сезоны года в течение периода усреднения в 2–3 НП каждого типа.

Второй способ основан на использовании результатов измерений удельной активности ^{137}Cs в потребляемых населением данного НП пищевых продуктах. Расчет средней по НП дозы внутреннего облучения населения производится по формуле:

$$E_{\text{НП}}^{\text{int}} = d_k \cdot \sum_i A_i \cdot V_i^{\text{эфф}} \cdot K_i, \text{ мЗв/год.} \quad (9)$$

где, A_i – средняя удельная активность ^{137}Cs в i -м пищевом продукте, Бк/кг;

$V_i^{\text{эфф}}$ – эффективное годовое потребление i -го пищевого продукта, учитывающее вклад в дозу других компонентов рациона питания, кг/год;

K_i – коэффициент снижения содержания ^{137}Cs в годовом i -м пищевом продукте по сравнению с исходным, вследствие его кулинарной обработки, отн. ед.; $K_i = 1,0$ для молока, $K_i = 0,5$ для грибов;

d_k – дозовый коэффициент для пищевого пути поступления ^{137}Cs в организм человека; для взрослых мужчин и женщин принято среднее значение $d_k = 1,2 \times 10^{-5} \text{ мЗв} \times \text{Бк}^{-1}$.

При расчете величины $E_{\text{НП}}^{\text{int}}$ следует использовать численные значения $V_i^{\text{эфф}}$, соответствующие рациону питания взрослого человека.

Расчеты ведут по данным о содержании ^{137}Cs в двух основных дозообразующих пищевых продуктах – молоке и грибах лесных. Численные значения $V_i^{\text{эфф}}$ для этих продуктов на период 2012–2020 гг. приведены в таблице 7.1 МУ 2.6.1.2003-05. При этом поступление ^{137}Cs с молоком, указанное в данной таблице, эквивалентно (по формируемой дозе) поступлению ^{137}Cs и ^{90}Sr со всеми продуктами местного сельскохозяйственного производства, а с грибами – поступлению со всеми продуктами природного происхождения.

При выполнении дозовых расчетов для НП группы 1 допускается использовать оценочные значения величины A_p , полученные по формуле:

$$A_i = K P_i \cdot \sigma_{^{137}\text{Cs}}, \text{ Бк/кг,} \quad (10)$$

где, $K P_i$ – коэффициент перехода ^{137}Cs из почвы в i -й пищевой продукт, $10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$; численные значения этого параметра на период 2012–2020 гг. для молока и различных групп (видов) грибов, производимых и произрастающих на почвах разных групп, приведены в таблицах 7.2 и 7.3 МУ 2.6.1.2003-05;

$\sigma_{^{137}\text{Cs}}$ – поверхностная активность ^{137}Cs в почве на территории НП в рассматриваемом году (по данным Росгидромета), $\text{кБк}/\text{м}^2$.

Если почвенный покров на территории хозяйства или в лесных массивах сформирован различными группами почв, то для расчетов используют средневзвешенное по площадям, занимаемым этими почвами, численное значение коэффициента перехода.

Представленная в вышеописанных документах методология оценки доз внутреннего облучения в большей мере применима к дозовым оценкам для населения, проживающего вблизи объектов ядерного наследия. Но и в этом случае имеется определенная специфика, требующая учета.

Оценка доз облучения населения природными радионуклидами

Методические указания МУ 2.6.1.2397-08³ предназначены для оценки доз:

- внешнего облучения за счет природных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах и конструкциях зданий, а также рассеянных в окружающей среде;

- внутреннего облучения за счет ингаляции изотопов радона (^{222}Rn – радон и ^{222}Rn – торон) и их короткоживущих дочерних продуктов (ДПР и ДПТ), содержащихся в воздухе жилых и общественных зданий и производственных помещений;

- внутреннего облучения за счет ингаляции природных радионуклидов, содержащихся в приземном слое атмосферы на территории населенных пунктов;

- внутреннего облучения за счет перорального поступления долгоживущих природных радионуклидов, содержащихся в воде источников питьевого водоснабжения и пищевых продуктах.

В соответствии с МУ 2.6.1.2397-08 исходные данные для расчета индивидуальных годовых эффективных доз групп населения с повышенными уровнями облучения за счет природных источников ионизирующего излучения должны включать:

- данные о среднегодовых значениях эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних продуктов изотопов радона в воздухе жилых, общественных и производственных зданий, а также в атмосферном воздухе на территории населенного пункта (района и т.п.);

- данные о средних значениях мощности дозы гамма-излучения в жилых, общественных и производственных зданиях, а также на территории населенного пункта (района и т.п.);

- данные о содержании природных радионуклидов в воде источников питьевого водоснабжения;

- данные об основных компонентах рациона питания населения, годовом потреблении пищевых продуктов и значениях удельной активности природных радионуклидов в них;

- данные о среднегодовом содержании пыли (аэрозолей) в приземном слое атмосферного воздуха и удельной активности долгоживущих природных радионуклидов в пыли на территории населенного пункта;

³ МУ 2.6.1.2397-08. Оценка доз облучения групп населения, подвергающихся повышенному облучению за счет природных источников ионизирующего излучения. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 20 с. [МУ 2.6.1.2397-08. Assessment of the doses of the groups of the public with increased exposure by the natural sources of the ionizing radiation. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 20 p.]

– сведения о среднегодовом содержании пыли (аэрозолей) и удельной активности долгоживущих природных радионуклидов в пыли в воздухе рабочей зоны.

Оценку суммарных значений средних индивидуальных годовых эффективных доз облучения групп населения с повышенными уровнями природного облучения рассчитывают по формуле:

$$E_{\Sigma} = E_{\text{ЖД}} + E_{\text{ОЗД}} + E_{\text{ПрЗД}} + E_{\text{ОМ}} + E_{\text{ПП}} + E_{\text{ПВ}} + E_{\text{НР}}, \text{ мЗв/год}, (11)$$

где $E_{\text{ЖД}}$, $E_{\text{ОЗД}}$, $E_{\text{ПрЗД}}$, $E_{\text{ОМ}}$, $E_{\text{ПП}}$, $E_{\text{ПВ}}$ и $E_{\text{НР}}$ – вклад в суммарную дозу облучения за счет пребывания в жилых домах, общественных зданиях, в производственных условиях и на открытой местности на территории населенного пункта, содержания природных радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде, а также нерегулируемых природных источников соответственно, мЗв/год.

Значение средней индивидуальной годовой эффективной дозы внешнего облучения взрослых жителей НП определяется по результатам измерений мощности дозы гамма-излучения в жилых домах, общественных зданиях и на открытой местности на территории населенного пункта, а также в производственных зданиях.

Эффективная доза внешнего облучения рассчитывается по формуле:

$$E_{\text{внеш}} = d \cdot \sum_i 10^{-3} \cdot T_i \cdot \bar{P}_i, \text{ мЗв/год}, (12)$$

где 10^{-3} – коэффициент перехода от мкЗв к мЗв;

T_i – время облучения в течение года за счет пребывания в i -й локации НП (жилые, общественные, производственные здания, открытая местность), ч;

$\bar{P}_i$ – среднее значение мощности дозы гамма-излучения в i -й локации НП;

d – дозовый коэффициент, численное значение которого принимается равным:

– 0,7 мкЗв/мкЗв, если в качестве $\bar{P}_i$ используется $\bar{H}_i$ – средняя в i -й локации НП мощность эквивалентной (амбиентной) дозы гамма-излучения, выраженная в мкЗв/ч;

– 0,7 мкЗв/мкГр, если в качестве $\bar{P}_i$ используется $\bar{D}_i$ – средняя в i -й локации НП мощность поглощенной дозы гамма-излучения, выраженная в мкГр/ч;

– 0,0061 мкЗв/мкР, если в качестве $\bar{P}_i$ используется $\bar{X}_i$ – средняя в i -й локации НП мощность экспозиционной дозы гамма-излучения, выраженная в мкР/ч.

Оценка индивидуальных годовых эффективных доз внутреннего облучения населения за счет изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов в воздухе производится на основании данных измерений средних годовых значений ЭРОА дочерних продуктов изотопов радона в воздухе по формуле:

$$E_{\text{Rn}}^{\text{вн}} = 9,45 \cdot 10^{-6} \sum T_i \cdot \bar{A}_i^{\text{ЭКВ}}, \text{ мЗв/год} (13)$$

где $9,45 \cdot 10^{-6}$ – дозовый коэффициент [в единицах мЗв/(ч·Бк/м³)], принимаемый в соответствии с докладом НК ДАР ООН за 2000 г. [17], с учетом вклада материнских радионуклидов ^{220}Rn и ^{222}Rn , составляющего примерно 5% от дозы облучения за счет их короткоживущих дочерних продуктов распада;

$\bar{A}_i^{\text{ЭКВ}}$ – среднегодовое значение ЭРОА дочерних продуктов изотопов радона в воздухе в i -й локации НП (жилые, общественные, производственные здания, открытая местность), Бк/м³;

T_i – время облучения в течение года за счет пребывания в i -й локации НП, ч.

Если для атмосферного воздуха на территории данного населенного пункта (района и т.п.) данные о значениях $\bar{A}_i^{\text{ЭКВ}}$ отсутствуют, то для расчетов доз облучения населения за счет этого фактора следует принимать $\bar{A}_i^{\text{ЭКВ}} = 6,5 \text{ Бк/м}^3$ в соответствии с данными НК ДАР ООН [17] о средних мировых значениях ЭРОА дочерних продуктов изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха.

Среднегодовое значение ЭРОА дочерних продуктов изотопов радона в воздухе в i -й локации НП рассчитывается по формуле:

$$\bar{A}_i^{\text{ЭКВ}} = \bar{A}_i^{\text{ЭКВ}, \text{Rn}} + 4,64 \cdot \bar{A}_i^{\text{ЭКВ}, \text{Tn}} (14)$$

где $\bar{A}_i^{\text{ЭКВ}}$ и $\bar{A}_i^{\text{ЭКВ}, \text{Rn}}$ – среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона соответственно в воздухе в i -ой локации НП.

Методология оценки дозы внутреннего облучения за счет перорального поступления долгоживущих природных радионуклидов, содержащихся в воде источников питьевого водоснабжения и пищевых продуктах, использованная в МУ 2.6.1.2397-08, аналогична методологии и моделям, содержащимся в МР 2.6.1.0063-12.

В дополнение к вышеперечисленным методическим указаниям нами проанализированы научные публикации по организации и методикам оценки доз и уровням облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов с повышенным содержанием природных радионуклидов [18–21].

Общий вывод состоит в том, что при подготовке методического документа по проведению оценки доз облучения населения за счет проживания вблизи объектов ядерного и радиационного наследия необходимо максимально использовать наработанные методические материалы по проведению подобных оценок в иных ситуациях. Но при этом необходимо учитывать специфику данной задачи по конфигурации возможного радиоактивного загрязнения, по его радионуклидному составу, а также по технологиям, используемым для проведения реабилитационных мероприятий.

Требования к исходным данным для расчета доз облучения

В результате анализа нормативно-методических документов и научных публикаций по радиационному обследованию участков территории, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и оценке доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационных объектов, на радиоактивно загрязненных территориях и облучающихся в повышенных дозах природными радионуклидами установлено, что применяемые в этих методических указаниях подходы, модели и формулы расчета доз облучения от техногенных и природных радионуклидов могут быть применимы для населения, проживающего в зоне влияния объекта ядерного наследия.

Однако точность и достоверность оценки доз облучения населения напрямую зависит от исходных данных, которые используются в моделях и расчетных формулах.

Действующие методические указания (2.6.1.0063-12, МУ 2.6.1.2003-05) предназначены для оценки доз населения, проживающего на значительных по размеру терри-

ториях с десятками, сотнями и тысячами населенных пунктов, в которых проживают тысячи, десятки и сотни тысяч человек. И в этой связи при радиационном обследовании указанных территорий (получении исходных данных) для оценки доз облучения в каждом отдельном населенном пункте проводится ограниченное количество измерений и проводится ограниченный отбор проб (единицы). При обследовании территорий, загрязненных в результате аварий на ПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС, исследования и отбор проб проводятся не во всех населенных пунктах, а только выборочно, в так называемых реперных (типичных) НП. В случае с обследованием ограниченного по масштабам участка территории количество точек измерения и отбираемых проб должно быть достаточным для достоверной оценки доз облучения населения, проживающего на этой территории.

Для получения достоверных исходных данных для расчета доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объекта ядерного наследия, представляется наиболее адекватным использование организации и схемы радиационного обследования, изложенных в следующих методических документах:

1. Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при проведении дезактивационных работ по ликвидации локального радиоактивного загрязнения (территорий, жилых, общественных и производственных объектов)». Утверждены 27.05.2005 г. заместителем руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

2. МУ 2.6.1.2398-08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий, сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности».

3. МУ 2.6.1.2838-11 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности».

Так, измерения мощности дозы гамма-излучения должны проводиться в контрольных точках, равномерно расположенных по территории участка в узлах сетки с шагом 10×10 м. В тех же контрольных точках, где производилось измерение мощности дозы гамма-излучения, проводится контроль глубинного распределения активности в грунте методом бурения скважин и отбор проб грунта на определение удельной активности содержащихся в нем радионуклидов.

Отбор проб воды должен производиться из всех водоемов и ручьев, обнаруженных на обследуемом участке, а также из наблюдательных скважин.

Более подробно требования по радиационному обследованию участков территории, загрязненных техногенными и природными радионуклидами на объектах ядерного наследия, нами изложены в проектах методических указаний «Организация и проведение радиационного обследования объектов и территорий, загрязненных техногенными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной отрасли, после окончания мероприятий по их реабилитации» и «Организация и проведение радиационного обследования объектов и

территорий, загрязненных природными радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий неядерных отраслей промышленности», проходящих в настоящее время рецензирование.

Заключение

Одним из важных направлений деятельности Госкорпорации «Росатом» является ликвидация ядерного и радиационного наследия, на что направлена Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2), которой предусмотрена и разработка нормативно-методических документов по обеспечению радиационной безопасности населения и охраны окружающей среды.

Для принятия решения о необходимости проведения реабилитационных мероприятий или применения мер защиты населения требуется достоверная оценка доз облучения населения за счет проживания в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия. Подходы, модели и формулы расчета доз облучения от техногенных и природных радионуклидов изложены в десятке действующих методических указаний и рекомендаций. Они могут быть использованы и для оценки доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного или радиационного наследия. Адаптированные модели и формулы для расчета доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия, целесообразно изложить в целевом методическом документе, с учетом имеющихся особенностей. Кроме того, требуется проработка вопросов получения достоверных исходных данных.

Литература

1. 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, М.К. Сневе с соавт. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2014. – Т.59, № 2. – С. 5-11.
2. 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.
3. Лунёва, К.В. Современные дозовые нагрузки на население и речную биоту в районе расположения Сибирского химического комбината (2000-2010 гг.) / К.В. Лунёва, А.И. Крышев, А.Ю. Пахомов, И.А. Пахомова // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2012. – Т. 21, № 4. – С. 24-30.
4. Романович, И.К. 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 // Радиационная гигиена. – 2018. – Т.11, № 3. – С. 7-21.
5. Карпенко, Е.И. Оценка доз облучения населения и природных объектов на территории, прилегающей к предприятию по добыче и переработке урановых руд / Е.И. Карпенко, С.И. Спиридонов, Н.И. Санжарова // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2012. – Т. 21, № 2. – С. 46-53.

6. Серия Норм МАГАТЭ по безопасности «Освобождение площадок от регулирующего контроля после завершения практической деятельности». Руководство № WS-G-5.1. – Вена, 2008. – 42 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Романович, И.К. Обоснование концепции перехода населенных пунктов, отнесенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС к зонам радиоактивного загрязнения, к условиям нормальной жизнедеятельности населения / И.К. Романович, Г.Я. Брук, А.Н. Барковский, А.А. Братилова, А.В. Громов, М.В. Кадука // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 1. – С. 6-18.
12. Брук, Г.Я. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2017 году жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населенных пунктов) / Г.Я. Брук, И.К. Романович, А.Б. Базюкин, А.А. Братилова, А.Ю. Власов, А.В. Громов, Т.В. Жеско, М.В. Кадука, О.С. Кравцова, К.А. Сапрыкин, В.С. Степанов, Н.В. Титов, В.А. Яковлев // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 73-78.
13. Брук, Г.Я. Облучение населения Российской Федерации вследствие аварии на Чернобыльской АЭС и Основные направления дальнейшей работы на предстоящий период / Г.Я. Брук, А.Б. Базюкин, А.Н. Барковский, А.А. Братилова, А.Ю. Власов, Ю.Н. Гончарова, А.В. Громов, Т.В. Жеско, С.А. Иванов, М.В. Кадука, О.С. Кравцова, В.В. Кучумов, И.К. Романович, К.А. Сапрыкин, Н.В. Титов, И.Г. Травникова, В.А. Яковлев // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 72-77.
14. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. – СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2016. – Т. 1. – 448 с.
15. Романович, И.К. Авария на АЭС «Фукусима-1»: организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения Российской Федерации / И.К. Романович [и др.]; под ред. акад. РАМН Г.Г. Онищенко. – СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2012. – 336 с.
16. Санжарова, Н.И. Радиологические аспекты возвращения территорий Российской Федерации, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, к условиям нормальной жизнедеятельности / Н.И. Санжарова, С.В. Фесенко, И.К. Романович, Т.А. Марченко, А.Н. Раздайковин, А.В. Панов, О.А. Шубина, П.В. Прудников, Н.Н. Исамов, А.И. Радин, Г.Я. Брук // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2016. – Т. 56, № 3. – С. 322-335.
17. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly, VI: Sources. UN, NY, 2000, 654 p.
18. Андреев, А.И. Оценка эффективных доз внутреннего облучения населения за счёт изотопов радона на территориях с различной степенью радоноопасности / А.И. Андреев, К.В. Пупатенко, И.М. Тесленко // В книге: Современные проблемы регионального развития Тезисы VI Международной научной конференции. Под редакцией Е.Я. Фрисмана. – 2016. – С. 69-72.
19. Пивоварова, Е.А. Оценка доз внутреннего облучения населения республики Хакасия при потреблении питьевой воды, не соответствующей нормам радиационной безопасности. Расчет рисков возникновения стохастических эффектов / Е.А. Пивоварова, А.А. Пивоваров // Здоровье населения и среда обитания. – 2016. – № 6 (279). – С. 33-35.
20. Романович, И.К. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / И.К. Романович, И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Д.В. Кононенко [и др.]; Под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. – Санкт-Петербург: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. – 432 с.
21. Назаров, Х.М. Оценка потенциальной радиационной опасности бывших урановых объектов для населения г. Истиклол Республики Таджикистан / Х.М. Назаров, К.А. Эрматов, Дж.А. Саломов, С.М. Бахронов, У.М. Мирсаидов // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 83-90.

Поступила: 01.04.2019 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

Сапрыкин Кирилл Александрович – заведующий лабораторией дозиметрии природных источников, старший научный сотрудник 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., Сапрыкин К.А. Обоснование методологических и методических подходов к оценке доз облучения населения, проживающего в зоне влияния объектов ядерного и радиационного наследия // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 34-43. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-34-43

Justification of the methodical approaches to the assessment of the doses of the public residing in the zone of influence of the facilities of the nuclear and radiation legacy

Ivan K. Romanovich, Tatyana A. Kormanovskaya, Nadezhda A. Koroleva, 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

To justify the decision on the necessity of the execution of the remediation actions or public safety measures as well as the correspondence of the remediated territories to the established criteria or reference levels it is necessary to correctly perform the assessment of the doses of the public residing in the zone of influence of the facilities of the nuclear and radiation legacy. Currently, there is no legislative document, regulating the doses of that category of the public. Based on the result of the regulatory documents and scientific publications on the radiation surveys of the contaminated territories and assessment of the doses to the public residing in the surveillance zone of the radiation facilities, on the radioactively contaminated territories and exposed by natural radionuclides, it was estimated that approaches, models and equations for the estimation of the doses from man-made and natural radionuclides can be applied for the public residing in the zone of influence of the facilities of the nuclear and radiation legacy. The number of control measurement points and samples for the radiation survey of the territories of the limited scale should be sufficient for the representative assessment of the doses to the public.

Key words: nuclear legacy, radiation legacy, remediation, doses, man-made radionuclides, natural radionuclides.

References

1. Shandala N. K., Filimonova A.A., Shelkanova E.S., Sneve M.K. [et al.] Radiation-hygienic monitoring in the area of the location of the temporary storage point of the spent nuclear fuel and radioactive wastes in Andreeva guba. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation protection, 2014, vol. 52, No 2, pp. 5-11. (In Russian)
2. Romanovich I.K. Scientific substantiation of approaches to organization and conducting radiation surveys at the rehabilitated radiation sites. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017;10(3):90-102. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-90-102>
3. Luneva K.V., Kryshev A.I., Pakhomov A.U., Pakhomova I.A. Present-day radiation doses on population and river biota near Siberian Chemical Combine (2000-2010). Radiatsiya i risk = Radiation and risk (Bulletin of the National radiation-epidemiological register), 2012, vol. 21 No 4, pp. 24-30. (In Russian)
4. 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;11(3):7-21. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-7-21>
5. Karpenko E.I., Spiridonov S.I., Sanzharova N.I. Assessment of radiation doses to the population and natural objects on the territory adjacent to facility for mining and processing of uranium ores. Radiatsiya i risk = Radiation and risk (Bulletin of the National radiation-epidemiological register), 2012, vol. 21 No 2, pp. 46-53 (In Russian)
6. IAEA Safety Standard Series WS-G-5.1. "Release of sites from regulatory control on termination of practices". Vienna, 2008, 42 p. (In Russian)
7. Golikov V.Y., Romanovich I.K. Justification for the radiological criteria for the use of areas with residual radioactive contamination based on the dose approach. Radiatsionnaya Gygiena

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

- = Radiation Hygiene. 2017;10(4):6-22. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-6-22>
8. 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>
 9. Romanovich I.K. Liquidation of the nuclear legacy: radiation-hygienic safety criteria for the decontaminated sites of territories, buildings and constructions. I.K. Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya = Health of the public and the environment, 2018, No4 (301), pp. 21-26 (In Russian)
 10. 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.
 11. Romanovich I.K., Bruk G.Ya., Barkovsky A.N., Bratilova A.A., Gromov A.V., Kaduka M.V. Substantiation of the concept of transfer to conditions of normal population activity of the settlements considered to be zones of radioactive contamination after the Chernobyl NPP accident. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2016;9(1):6-18. (In Russian)
 12. Bruk G.Ya., Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Saprykin K.A., Stepanov V.S., Titov N.V., Yakovlev V.A. The average annual effective doses for the population of the settlements of the Russian Federation attributed to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl accident (for the zonation purposes), 2017. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2017;10(4):73-78. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-73-78>
 13. Bruk G.Ya., Bazyukin A.B., Barkovsky A.N., Bratilova A.A., Vlasov A.Y., Goncharova Y.N., Gromov A.V., Jesko T.V., Ivanov S.A., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Kuchumov V.V., Romanovich I.K., Saprykin K.A., Titov N.V., Travnikova I.G., Yakovlev V.A. The exposure for populations of the Russian Federation due to the Chernobyl accident and main directions of further work in the coming period. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2014;7(4):72-83. (In Russian)
 14. Radiation-hygienic aspects of the negotiation of the Chernobyl NPP consequences. Ed. By academic of RAS G.G. Onischenko and prof A.Yu. Popova. Saint-Petersburg, NIIRG after P.V. Ramzaev, 2016, vol. 1, 448 p. (In Russian)
 15. Romanovich I.K. [et al.] NPP "Fukushima-1" accident: management of the prophylactic actions aimed at the preservation of health of the public of the Russian Federation. Ed. by academic of RAS G.G. Onischenko. Saint-Petersburg, NIIRG after P.V. Ramzaev, 2012, 336 p. (In Russian)
 16. Sanzharova N.I., Fesenko S.V., Romanovich I.K., Marchenko T.A., Razdaivodin A.N., Panov A.V., Shubina O.A., Prudnikov P.V., Isamov N.N., Radin A.I., Bruk G.Ya. Radiological Aspects of Transition of Russian Areas Affected by the Chernobyl Accident to Normal Activities. Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation Biology. Radioecology, 2016, vol. 56, No 3, pp. 322-335. (In Russian)
 17. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly, VI: Sources. UN, NY, 2000, 654 p.
 18. Andreev A.I., Pupatenko K.V., Teslenko I.M. Assessment of the effective doses from the internal exposure of the public from the radon daughters on the areas with different grade of radon hazard. Modern issues of the regional development. Proceedings of the VI International scientific conference. Ed. By E. Ya. Frisman, 2016, pp. 69-72 (In Russian)
 19. Pivovarova E.A., Pivovarov A.A. Assessment of the doses of internal exposure of the public in Hakasiya Republic from the drinking water not compliant to the norms of the radiation safety. Calculation of the risks of the stochastic effects. Zdorovie naseleniya i sreda obitaniya = Health of the public and environment, 2016, No. 6 (279), pp. 33-35. (In Russian)
 20. Romanovich I.K., Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V. [et al.] Natural sources of ionizing exposure: doses, radiation risks, prophylactic actions. Ed. By academic of RAS G.G. Onischenko and prof A.Yu. Popova. Saint-Petersburg, NIIRG after P.V. Ramzaev, 2018, 432 p. (In Russian)
 21. Nazarov K.M., Ermatov K.A., Salomov D.A., Bahronov S.M., Mirsaidov U.M. Assessment of potential radiation hazard of the former uranium facilities for the population of the Istiklol city of the republic of Tadjikistan. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene. 2018;11(2):83-90. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-2-83-90>

Received: April 01, 2019

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

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., Saprykin K.A. Justification of the methodical approaches to the assessment of the doses of the public residing in the zone of influence of the facilities of the nuclear and radiation legacy. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No 2, pp.34-43 (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-34-43