

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-57-69>

УДК 574:577.4:539.16

ОБЗОР МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОЦЕНКЕ ГОДОВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОЖИВАНИИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Топорова А.В., Бакланова Ю.В., Стрильчук Ю.Г., Шатров А.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

E-mail для контактов: toporova@nnc.kz

В статье представлен обзор рекомендаций, методических указаний и программного обеспечения по оценке дозовых нагрузок на население при проживании на радиоактивно-загрязненных территориях. Проведен обзор наиболее распространенных методик расчета доз ближнего и дальнего зарубежья. Приводятся основные подходы, коэффициенты, необходимые для расчетной оценки доз. Рассмотрены основные пути поступления искусственных радионуклидов. Представлена необходимость разработки методических указаний и программного обеспечения по оценке дозовых нагрузок при проживании людей на территории Семипалатинского испытательного полигона.

Ключевые слова: *эффективная годовая доза, удельная и поверхностная активности, внутреннее и внешнее облучение, дозовые коэффициенты, сценарии поведения.*

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Казахстан (РК) в настоящее время в доступных литературных источниках отсутствуют приемлемые алгоритмы расчета оценки доз населения при проживании на радиоактивно-загрязненной территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Регулирование любой деятельности на территории полигона требует оценки радиационных рисков, которая существует или планируется на данной территории. Для этого необходимо провести расчет среднегодовых эффективных доз облучения, которые может получить человек в случае проживания и ведения хозяйственной деятельности на СИП.

В РК утверждены гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (ГН СЭТОРБ) [1], Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» (СП СЭТОРБ) [2]. Гигиенические нормативы предназначены для юридических и физических лиц независимо от форм собственности, ведомственной принадлежности организационно-правовых форм, деятельность которых связана с обращением источников ионизирующего излучения, для обеспечения радиационной безопасности. Санитарные правила устанавливают требования к обеспечению радиационной безопасности при проектировании, вводе в эксплуатацию и содержании радиационных объектов, выводе из эксплуатации радиационных объектов, обращении с источниками ионизирующего излучения (закрытыми и открытыми радионуклидными источниками, радиоактивными веществами, радиоизотопными приборами, устройствами, генерирующими ионизирующее излучение), обращении с радиоактивными отходами, применении материалов и изделий, загрязненных или содержащих радионуклиды, осуществлении производственного радиационного контроля на объектах, в том числе, неф-

тегазового комплекса и металлолома, применении средств индивидуальной защиты и личной гигиены, при медицинском облучении, воздействии природных источников излучения и радиационных авариях.

В настоящее время основой оценки степени радиационного риска является общепринятая и регламентированная ГН СЭТОРБ модель беспорогового действия ионизирующего излучения, в которой мерой радиационного риска является величина эффективной дозы [1]. Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине. Поэтому, качественная и объективная оценка дозовых нагрузок при проведении комплексного экологического обследования территории СИП является гарантом соблюдения Закона о радиационной безопасности для лиц, проживающих на территории СИП, в случае передачи земель полигона в хозяйственный оборот.

В СП СЭТОРБ доза эффективная – величина, используемая, как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей, с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

где: H_T – эквивалентная доза в органе или ткани T ; W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T .

Таким образом, если просуммировать произведения величин каждого из монофакторных воздействий на его дозовый коэффициент, то в сумме получится

величина, равная или большая фактически полученной эффективной дозе.

В СП СЭТОРБ не приводятся формулы для оценки доз облучения населения от искусственных радионуклидов.

В приложении 11 ГН СЭТОРБ представлены значения годового объема вдыхаемого воздуха для разных возрастных групп населения. Для персонала объем вдыхаемого воздуха составляет $1,4 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом в данном документе не учитывается параметр интенсивности дыхания для разных уровней активной деятельности человека.

Значения дозовых коэффициентов искусственных и естественных радионуклидов приведены только для внутреннего облучения при поступлении их с воздухом и пищей для критических групп. Например, для радионуклида ^{90}Sr приведены значения для детей 12–17 лет, для ^{137}Cs – для взрослого населения (старше 17 лет).

Исходя из этого, в данной статье предлагается рассмотреть методические указания и рекомендации, программные обеспечения по оценке ожидаемой годовой эффективной дозы для населения, проживающего вблизи либо в пределах территорий, загрязненных в результате техногенной деятельности. В обзоре методических указаний и рекомендаций представлены основные положения.

Обзор методов расчета оценки доз от внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях

Обзор методов расчета оценки доз проводится с учетом целей использования территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и путей облучения.

На загрязненных участках потенциальными путями воздействия на человека являются следующие:

- внешнее облучение от радионуклидов, содержащихся в почве;
- внешнее облучение от загрязненной почвы, попавшей на кожу;
- внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов;
- внутреннее облучение от поступления радионуклидов с продуктами питания и водой;
- внутреннее облучение от непреднамеренного перорального поступления загрязненной почвы.

Доза существенно зависит от таких параметров как содержание искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды, условий проживания, особенностей питания населения и ведения хозяйственной деятельности.

В отчете Национального совета по радиологической защите Великобритании «Методология по оценке доз облучения населения при дальнейшем использовании земель, ранее загрязненных радиоактивными веществами» [3] приведена оценка потенциальных доз облучения населения, при исполь-

зовании загрязненных земель в будущем. Основное требование данной методологии состоит в том, чтобы дозы облучения, полученные населением, проживающим на загрязненной территории в будущем, а также работниками, которые выполняют работы по восстановлению территории, были малы настолько, насколько это возможно, учитывая экономические и социальные факторы.

Дозы облучения определяются по сценариям поведения населения, которые учитывают возможные пути облучения. Эти сценарии включают в себя сельскохозяйственное использование земель, сценарии отдыха и строительства (дома, служебные офисы, школы). Рассматриваемые пути облучения представлены внешним облучением, внутренним облучением от радионуклидов, поступивших от загрязненной почвы (через вдыхание и случайное попадание внутрь), а также внутренним облучением от продуктов питания, выращенных на загрязненной территории. В методологии рассматривается 8 путей облучения и 7 поведенческих сценариев.

Рассматриваемые пути облучения:

- внешнее облучение от загрязненной почвы;
- внешнее облучение кожи от загрязненной почвы;
- внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов;
- внутреннее облучение от перорального поступления радионуклидов с продуктами питания, выращенными и производимыми на загрязненной территории;
- внутреннее облучение от непреднамеренного попадания радионуклидов (заглатывание);
- внутреннее облучение от потребления питьевой воды из водоносного пласта, расположенного под загрязненным слоем земли;
- внутреннее облучение от перорального поступления радионуклидов с пресноводной рыбой из озер или рек, расположенных на загрязненной территории;
- внутреннее облучение от непреднамеренного попадания радионуклидов с водой из озера или реки, расположенной на загрязненной территории.

Рассматриваемые сценарии поведения:

- сельскохозяйственная деятельность;
- отдых на открытом воздухе;
- сценарий строительства;
- школьный сценарий;
- производственный сценарий;
- жилищный сценарий;
- сценарий рекультивации (застройки) участка.

Дозы рассчитываются для трех возрастных категорий – взрослый, ребенок 10 лет и ребенок 1 год.

В методологии приведены три периода времени облучения:

- 1) Облучение в течение времени, проведенного вне помещения, где нарушен почвенный слой земли.

2) Облучение в течение времени, проведенного вне помещения, где почвенный слой земли не нарушен.

3) Облучение в течение времени, проведенного в помещении.

Для дозы внутреннего облучения от перорального поступления продуктов питания рассматриваются 6 видов продуктов, такие как: зелень, овощи, фрукты, мясо, молоко и злаковые. При этом овощи, фрукты, мясо не подразделяются на подвиды, например, огурцы, помидоры, мясо (конина или говядина) и т.д., а учитывается суммарное годовое потребление овощей, мяса, фруктов и т.д. Поскольку невозможно определить какие продукты будут в действительности выращиваться в будущем, необходимо рассматривать разные продукты питания и учитывать их годовое потребление.

В методологии приведены показатели почасового и годового непреднамеренного заглатывания почвы для 3 возрастных категорий (таблица 1).

Таблица 1. Норма случайного попадания почвы внутрь для критической группы

Возраст	взрослый	ребенок	грудной ребенок
Почасовая норма заглатывания почвы, INGs, hour, г/ч	5×10^{-3}	1×10^{-2}	5×10^{-2}
Годовая норма заглатывания почвы, INGs, annual, г/год	$8,3 \times 10^0$	$1,8 \times 10^1$	$4,4 \times 10^1$

В методологии учитывается, что интенсивность дыхания ($\text{м}^3/\text{ч}$) при тяжелой работе увеличивается в среднем в два раза, а при очень тяжелой – до четырех-пяти раз. Интенсивность дыхания составляет для взрослого – $1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, для ребенка 10 лет – $0,87 \text{ м}^3/\text{ч}$, для ребенка 1 год – $0,31 \text{ м}^3/\text{ч}$. Значения интенсивности дыхания в Отчете отличаются от значений, приведенных в ГН СЭТОРБ РК. Также в Отчете предполагается, что среднегодовая запыленность при естественном пылении составляет $10^{-7} \text{ м}^3/\text{год}$, а при сильном пылении может увеличиваться в 10–100 раз (10^{-6} – $10^{-5} \text{ м}^3/\text{год}$). Это важно учитывать при разных видах деятельности, проводимых на загрязненных территориях, если значение неизвестно.

Основной вывод методологии заключается в том, что дозы облучения определяются по сценариям поведения населения, которые учитывают основные пути облучения. Эти сценарии включают в себя дальнейшее использование загрязненных земель. Также важно отметить, что интенсивность дыхания и среднегодовая запыленность при различных видах физической нагрузки увеличиваются.

В методических указаниях «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем» [4] приводится процедура расчета доз внутреннего и внешнего облучения населения, проживающего на радиационно-загрязненной территории. Данные методические указания предназначены для использова-

ния в системе аварийного реагирования при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем.

Дозы оцениваются для представителей следующих групп населения: представители взрослого населения (работающие преимущественно вне помещений) и работающие преимущественно внутри помещений), школьники и дошкольники. Весь процесс облучения разделяется на некоторые типичные ситуации облучения, для каждой из которых можно построить свою модель внешнего облучения. Каждая из этих частных моделей включает свой дозовый коэффициент, связывающий концентрацию радионуклидов в объектах окружающей среды с дозой характеристикой поля внешнего излучения или непосредственно с характеристикой облучения человека – эффективной дозой.

В методических указаниях рассматриваются дозы внешнего облучения от гамма-излучения (от радиоактивного облака и от подстилающей поверхности), внутреннего облучения от ингаляционного поступления радионуклидов, внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с продуктами питания. В методических указаниях так же, как и в предыдущей методологии, интенсивность дыхания при тяжелой работе увеличивается в среднем в два раза, а при очень тяжелой – до четырех-пяти раз. Значения средней интенсивности дыхания для лиц из населения разного возраста при легкой физической нагрузке представлены в таблице 2.

Таблица 2. Интенсивность дыхания у лиц разного возраста при легкой физической нагрузке

Возраст	старше 17 лет	10 лет	1 год
Скорость дыхания, $\text{м}^3/\text{ч}$	1,4	1,1	0,35

В таблице 2 значение интенсивности дыхания для взрослого населения (старше 17 лет) сравнимо со значением в ГН СЭТОРБ для персонала, и они выше значений, представленных в отчете Национального совета по радиологической защите. Вероятно, такие значения приняты для консервативной оценки для радиоактивно-загрязненной территории.

В целом по данным методическим указаниям можно отметить, что для расчета дозы внутреннего облучения необходимы измерения активности радионуклидов в воздухе населенных пунктов и в продуктах питания. Дозовые коэффициенты при ингаляционном пути поступлении не учитывают возрастных категорий, расчет доз внешнего гамма-облучения, можно провести, опираясь только на результаты гамма-спектрометрического анализа проб грунта. В данной методологии не рассматривается расчет внешней дозы от бета-излучения, облучения кожи от загрязненной почвы, внутреннего облучения от непреднамеренного заглатывания загрязненной почвы.

Методические указания «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду» [5] опре-

деляют требования к необходимым исходным данным и процедуру расчета прогнозируемых эффективных доз (ПЭД) облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие выброса в окружающую среду радионуклидов цезия и стронция (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr). Под прогнозируемой эффективной дозой здесь понимается прогнозируемая за указанный период эффективная доза, средняя у выбранных групп жителей, обусловленная находящимися в окружающей среде радионуклидами цезия и стронция. Также приводится расчет прогнозируемой накопленной эффективной дозы (за 70 лет у детей и за 50 лет у взрослых жителей населенных пунктов).

Среднее значение ПЭД внешнего и внутреннего облучения рассчитывается для двух возрастных групп населения – детей и взрослых. Дети в данных методических указаниях относятся к критической группе, потому что, в случае загрязнения территории радионуклидом ^{90}Sr , у детей, которые потребляют местные пищевые продукты, доза внутреннего облучения от перорального поступления выше, чем в среднем по населенному пункту. В качестве потребляемых продуктов выбраны молоко и грибы.

В данных методических указаниях представлен порядок расчета доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду. В качестве исходных данных выступают поверхностное загрязнение почвы радионуклидами, коэффициенты перехода радионуклидов в молоко и грибы, дозовые коэффициенты. В методических указаниях приведена подробная оценка дозы внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с грибами и молоком, если известно только значение поверхностной активности, т.е. не требуется измерение активности радионуклидов в продуктах питания. Основой для расчета эффективных доз внутреннего и внешнего облучения служат поверхностные активности радионуклидов в почве. Схема проведения расчета внешнего и внутреннего облучения, как и в *методических указаниях «Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем»* [5].

Известны *методические рекомендации «Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС»* [6]. Данные рекомендации предназначены для оценки текущих доз облучения критических групп населения в условиях проживания на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на ЧАЭС. В них определены требования к исходным данным и описана процедура выполнения расчета средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенного пункта и критической группы населения. Используется градация

населенных пунктов по типам ТИП I (село или поселок городского типа), ТИП II (поселок городского типа или город, ТИП III (город). Процедура выполнения дозовых расчетов приведена для ^{137}Cs . Эффективная доза рассчитывалась от внешнего гамма-излучения от загрязненной поверхности почвы и внутреннего облучения (с использованием результатов измерения активности ^{137}Cs в теле человека на счетчике излучения человека и на основе измерений удельной активности ^{137}Cs в продуктах питания). Приводится также расчет среднегодовой эффективной дозы внешнего облучения от почвы на берегах рек, подвергшейся загрязнению при их разливах, и при использовании загрязненной воды для полива сельскохозяйственных и огородов.

При внутреннем облучении рассматриваются следующие модели внутреннего облучения:

- пероральный путь, т.е. внутреннее облучение от поступления 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 (ре-суспензия).

Полная доза облучения представителей населения складывается из суммы доз внешнего и внутреннего облучения.

Как и в предыдущих, в данных рекомендациях основная группа продуктов питания это грибы и молоко. Здесь грибы подразделяются по группам сильно-накапливающие, средненакапливающие, слабонакапливающие и для разных групп почв. Дозовый коэффициент для радионуклида ^{137}Cs приведен для 3 типов жилых домов (одноэтажный деревянный, одноэтажный каменный, многоэтажный) и 3 типов населенных пунктов. Годовое потребление грибов и молока приведены также для 3 типов населенных пунктов, где заметно, что большее значение годового потребления идет для населенных пунктов ТИП I (село или поселок городского типа).

В *рекомендации МАГАТЭ «Оценка доз облучения населения при пероральном поступлении радионуклидов»* [7] представлена информация для проведения расчетной оценки доз для разных возрастных групп из населения при поступлении радионуклидов с продуктами питания. Также в ней приведены данные по потребительской корзине в разных странах. Это такие продукты, как: пшеница, корнеплоды, овощи, фрукты, мясо, рыба и молоко. Приведена потребительская корзина для населения Германии для разных возрастных групп. Дозовые коэффициенты при пероральном поступлении радионуклидов с про-

дуктами питания приведены для младенцев (3 месяца), детей (1, 5, 10 и 15 лет) и взрослых. Дозовые коэффициенты при поступлении радионуклидов с продуктами питания приведены для 29 элементов. Также в рекомендациях приведено описание биокинетических и дозиметрических моделей МКРЗ. Дозовые коэффициенты, приведенные в данной методике, используются и в методических указаниях [5].

В статье «Дозы облучения работников при проведении сельскохозяйственных операций на загрязнённой радионуклидами (^{137}Cs , ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$) территории» [8] представлены данные загрязнённости радионуклидами почвы и воздуха рабочей зоны при выполнении основных пылеобразующих сельскохозяйственных операций (дискование, вспашка, сев и уборка сельскохозяйственных культур) в условиях полевого эксперимента на территории земель Гомельской области Беларуси (42 км от ЧАЭС). Находящиеся в поверхностном слое почвы этих земель радионуклиды при проведении сельскохозяйственных работ под действием ветра и механических факторов с частицами пыли могут подниматься в воздух и, тем самым, обуславливать формирование дозы внутреннего облучения за счёт ингаляционного поступления. Был проведен эксперимент при выполнении основных пылеобразующих сельскохозяйственных операций (дискование, вспашка, сев и уборка сельскохозяйственных культур) в результате которого получены коэффициенты ресуспензии (дефляции). В статье приведены результаты эксперимента при работе с сельскохозяйственными культурами, где использованы результаты объёма прокаченного воздуха, масса пыли, объёмная активность трансурановых элементов и коэффициенты ресуспензии, полученные при выполнении основных пылеобразующих сельскохозяйственных операций (дискование, вспашка, сев и уборка сельскохозяйственных культур) в условиях проводимого полевого эксперимента. Содержание весового количества пыли в кабине комплекса К-Г-6 являлось максимальным и составляло $5,2 \text{ мг/м}^3$, а содержание пыли в кабине комбайна «Полесье», которая оборудована кондиционером, наоборот, было минимальным и составляло $0,2 \text{ мг/м}^3$. Коэффициент ветрового подъема для ^{137}Cs и ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ варьирует в пределах $n \times 10^{-10} - 10^{-8} \text{ 1/м}$, что соответствует литературным данным для других условий пылеобразования.

В результате проведенных расчетов установлено, что максимальные эффективные дозы внутреннего облучения работников от ингаляционного поступления ^{137}Cs и трансурановых элементов (^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$) в воздухе рабочей зоны формируются в кабине механизатора, не оснащённой системой кондиционирования. Основной вклад в дозу внутреннего облучения от трансурановых элементов вносит ^{241}Am – более половины от суммы всех трансурановых элементов. При выполнении наиболее пылеобразующих сельскохозяйственных операций ожидаемая эффек-

тивная доза внутреннего облучения за счёт ингаляционного поступления ^{137}Cs и суммы трансурановых элементов ($^{241}\text{Am} + ^{238,239+240}\text{Pu}$) на два математических порядка величины меньше эффективной дозы внешнего облучения работников. Из данной статьи можно отметить ключевой момент, что параметр среднегодовой запыленности необходимо учитывать при разных видах деятельности.

В отчете «Критерии категорирования радиационно и химически загрязнённых территорий при реабилитации до социально приемлемого уровня» [9] представлен мировой опыт по реабилитации загрязнённых территорий до социально приемлемого уровня. Мировой опыт показывает, что в качестве основы для принятия решений в отношении реабилитации территорий используется, как правило, оценка риска, представляемого загрязнением на конкретном объекте для здоровья человека. Применение методологии оценки риска здоровью в качестве инструмента обоснования эффективных управленческих решений позволяет получать количественные характеристики возможного ущерба, сравнивать и ранжировать различные эффекты воздействия, разрабатывать механизмы и стратегию различных регулирующих мер по снижению риска, определять приоритеты экологической политики на региональном и национальном уровнях и т.д.

В отчете представлено, что потенциальными путями воздействия на человека на загрязнённых участках являются следующие:

- прямое потребление почвы;
- ингаляция пыли;
- потребление питьевой воды, загрязнённой в результате миграции радионуклидов или химикатов через почву в водоносные горизонты;
- загрязнение кожи;
- потребление местной продукции;
- миграция летучих радиоактивных газов в фундамент зданий;
- внешнее облучение от радионуклидов, содержащихся в почве.

При оценке дозы внутреннего облучения от потребления продукции, выращенной на загрязнённой территории, рассматривается поступление радионуклидов с зеленой частью растений, плодовыми овощами, картофелем и корнеплодами, молоком и мясом, грибами и ягодами, рыбой, частицами почвы и водой. Приведены формулы для расчета содержания удельной активности в продуктах при известном поверхностном загрязнении почвы.

Доза внутреннего облучения рассчитывается с учетом ресуспензии, где коэффициент ветрового подъема ($1/\text{м}$) находится в пределах $10^{-8} - 10^{-10} \text{ м}^{-1}$, рекомендовано для расчетов среднее значение 10^{-9} м^{-1} .

В отчете приведены пять сценариев использования загрязнённой территории, каждому из которых соответствует свой путь облучения человека:

Сценарий 1 предполагает постоянное проживание человека на загрязненной территории и сельскохозяйственное использование данной земли. При этом учитываются следующие пути облучения человека: внешнее облучение от поверхности земли; ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии); облучение от потребления загрязненных овощей, картофеля и зеленых растений; облучение от потребления молока, облучение от потребления мяса; облучение от потребления рыбы; облучение от потребления грибов и ягод; облучение от потребления частиц почвы и облучение от потребления питьевой воды из реки и озера.

Сценарий 2 предполагает постоянное проживание человека на загрязненной территории и ограничение на сельскохозяйственное использование данной земли (приусадебное хозяйство). При этом учитываются следующие пути облучения человека: внешнее облучение от поверхности земли; ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии); облучение от потребления загрязненных овощей и зеленых растений; облучение от потребления рыбы; облучение от потребления грибов и ягод; облучение от потребления частиц почвы и облучение от потребления питьевой воды из реки и озера.

Сценарий 3 предполагает постоянное проживание человека в городской застройке без хозяйственного использования загрязненной земли. При этом учитываются следующие пути облучения человека: внешнее облучение от поверхности земли; ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии) и облучение от потребления питьевой воды из реки и озера.

Сценарий 4 предполагает временное нахождение на загрязненной территории с промышленным использованием земли. При этом учитываются только внешнее облучение от поверхности загрязненной почвы и ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии).

Сценарий 5 предполагает временное нахождение на загрязненной территории и рекреационное использование данной земли (туризм). При этом учитываются следующие пути облучения человека: внешнее облучение от поверхности земли; ингаляционное поступление радионуклидов при вторичном ветровом подъеме радионуклидов (ресуспензии); облучение от потребления рыбы; облучение от потребления грибов и ягод и облучение от потребления частиц почвы. При этом предполагается, что человек находится на данной территории 1 месяц в году.

В отчете отмечено, что при дальнейшем использовании загрязненных территорий требуется описание сценарии поведения. В документе приводится оценка дозы внутреннего облучения через коэффициент дефляции (коэффициент ветрового подъема), в

рассмотренных ранее литературных источниках расчет проводится с использованием интенсивности дыхания и среднегодовой запыленности. Также представлены потенциальные пути облучения при использовании загрязненных территорий.

В статье [10] представлен *проект «Методические указания по определению эффективной дозы ионизирующего излучения»*. В методических указаниях приведена оценка суммарной эффективной дозы от всех источников излучения (естественных и искусственных). Эти рекомендации основаны на таких документах, как нормы радиационной безопасности (НРБ-99), международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (МАГАТЭ, 1997), рекомендации МКРЗ (Публикация 26, 1977; Публикация 60, 1994; Публикация 65, 1995) и др. справочных материалах.

Общая суммарная эффективная доза определена как сумма следующих составляющих (факторов воздействия):

$$E = E_k + E_\gamma + E_\beta + E_n + \sum E_{ДПР} + \sum E_{инг} + \sum E_{интц}$$

где: E_k – доза космического излучения; E_γ – доза внешнего гамма-излучения; E_β – доза внешнего бета-излучения; E_n – доза нейтронного излучения; $E_{инг}$ – ожидаемая доза от поступления в организм i -го радионуклида через органы дыхания (кроме дочерних продуктов распада радона и торона); $E_{ДПР}$ – доза от поступления в организм дочерних продуктов распада (ДПР) радона и торона; $E_{интц}$ – ожидаемая доза от поступления в организм i -го радионуклида через органы пищеварения.

В методических указаниях приведены формулы для оценки доз, как от естественных радионуклидов, так и от искусственных, используются дозовые коэффициенты для критической группы населения и персонала. В ней не учитываются какие-либо сценарии поведения населения и персонала, а также увеличение интенсивности дыхания при различных видах активности.

Аналогично рассмотрено *программное обеспечение (RESRAD, RadEnvir 3.1)*.

Программа RESRAD предназначена для оценки доз облучения и рисков. Модель остаточной радиоактивности (RESRAD) и компьютерная программа разработаны для оказания помощи в разработке критериев оценки очистки территорий и дозы или риска, связанного с остаточным радиоактивным материалом. Программа RESRAD позволяет вычислить концентрацию, которая будет соответствовать дозе или риску на основе требований по очистке в разных государствах, а также вычислить потенциальные годовые дозы и пожизненные риски для рабочих и населения в результате воздействия остаточной радиоактивности, содержащейся в почве. Программа позволяет вычислить концентрацию радионуклидов в различных средах (воздух, поверхностные и грунтовые

воды) при нахождении радиоактивности в почве. Программа создана Аргонской национальной лабораторией (Argonne National Laboratory).

В 6 версии программы оценку можно проводить для 145 радионуклидов – как материнских, так и дочерних. В программе используется наихудший сценарий поведения человека, когда фермер проживает или будет жить на радиоактивно-загрязненном участке. Рассматриваются следующие пути облучения: внешнее облучение от загрязненной почвы; внутреннее облучение от ингаляционного поступления радионуклидов; внутреннее облучение от продуктов питания, таких как продукты растительного происхождения, выращенные на загрязненном участке и орошаемые загрязненной водой, мясо и молоко от скота, который потребляет корм и воду с загрязненной территории, питьевая вода из загрязненной скважины или поверхностного водоема, рыба из загрязненного водоема и непреднамеренное заглатывание загрязненной почвы.

В программе также учитываются сценарии поведения человека при проживании на загрязненном участке, а также проживание на этом участке после проведения радиологического обследования, который можно использовать для проживания. Предполагается, что фермер и его семья строят дом, выращивают урожай и занимаются животноводством. Помимо постоянного проживания населения, рассматривается категория людей, которые могут заниматься строительными работами на загрязненном участке. Т.е. это группа людей, которые получают меньшую дозу, чем постоянно проживающие на этой территории. Сценарий фермер и его семья, проживающие на загрязненном участке, в данной программе считается наиболее консервативным.

Также в программе можно рассмотреть другие потенциальные сценарии воздействия, такие, как промышленный работник, сценарии отдыха и загородного жителя. Для этих сценариев человек обычно тратит меньше времени проведенного на загрязненном

участке, и соответственно меньше путей облучения, чем для сценария фермера. Например, промышленные рабочие, как правило, работают 8 часов в день и не употребляют продукты питания, выращенные на загрязненной территории. В сценарии отдыха учитывается, что человек проводит ограниченное время на загрязненном участке или участке после рекультивации, потому что такие виды деятельности, как рыбалка и охота являются сезонными видами отдыха. Основные пути облучения по всем сценариям, рассматриваемым в программе, приведены в таблице 3.

Сценарий ^{а)} – фермер: вода используется для питья, бытовых целей, ирригации, и сельскохозяйственных животных, полив из местного колодца на загрязненном участке.

Сценарий ^{б)} – загородный житель: нет потребления мяса и молока, производимого на загрязненном участке, и вода используется для питья из чистых источников, расположенных за пределами загрязненного участка.

Сценарий ^{в)} – промышленный работник: нет потребления воды или продуктов питания, производимых на загрязненном участке. Примечание: предполагается, что промышленный рабочий употребляет воду из скважины на загрязненном участке (Агентство по охране окружающей среды США, 1994 [11]). Тем не менее, количество потребляемой питьевой воды для промышленного рабочего и фермера отличается.

Сценарий ^{г)} – отдыхающий: нет потребления пищи, кроме мяса (диких животных) и/или рыбы, полученной из пруда на данном участке, и вода, используемая для питья из источников, расположенных за пределами загрязненного участка.

В таблице 4 приведены значения основных параметров, используемые в сценариях для фермера, промышленного рабочего, загородного жителя и отдыхающего. Эти параметры могут быть изменены в соответствии с другими условиями нахождения на загрязненном участке.

Таблица 3. Пути облучения, которые могут быть учтены по сценариям поведения для фермера, промышленного рабочего, загородного жителя и сценарию отдыха

Пути облучения	Фермер ^{а)}	Загородный житель ^{б)}	Промышленный рабочий ^{в)}	Отдыхающий ^{г)}
Внешнее гамма-излучение	да	да	да	да
Внутреннее облучение от ингаляционного поступления частиц	да	да	да	да
Внутреннее облучение от ингаляционного поступления радона	да	да	да	да
Внутреннее облучение от перорального поступления:				
– продуктов питания растительного происхождения	да	да	нет	нет
– мяса	да	нет	нет	да
– молока	да	нет	нет	нет
– рыбы	да	нет	нет	да
– почвы	да	да	да	да
– воды	да	нет	нет	нет

**ОБЗОР МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОЦЕНКЕ ГОДОВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ЧЕЛОВЕКА
ПРИ ПРОЖИВАНИИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Таблица 4. Сравнение основных параметров, используемых в сценариях поведения программы RESRAD для фермера, промышленного рабочего, загородного жителя и отдыхающего

Параметр	Размерность	Фермер	Загородный житель	Промышленный рабочий	Отдыхающий
Время облучения	год	30	30	25	30
Интенсивность дыхания ^{а)}	м ³ /год	8400	8400	11400	14000
Доля времени проведенного внутри помещения ^{б)}	- ^{в)}	0,50	0,50	0,17	-
Доля времени проведенного на открытом воздухе ^{г)}	-	0,25	0,25	0,06	0,006
Доля загрязнения продуктов питания ^{д)} :					
– продукты растительного происхождения	-	0,5	0,1	не используется	не используется
– молоко	-	1,0	не используется	не используется	не используется
– мясо	-	1,0	не используется	не используется	1,0
– морепродукты	-	0,5	не используется	не используется	0,5
Заглатывание почвы ^{е)}	г/год	36,5	36,5	36,5	36,5
Потребление питьевой воды ^{ж)}	л/год	510	не используется	не используется	не используется

Параметр ^{а)} – RESRAD предполагает, что средняя скорость вдыхаемого воздуха 8400 м³/год для фермера и загородного жителя. Среднее значение интенсивности дыхания 15,2 м³/сут приводится Агентством по охране окружающей среды США "Справочник факторов воздействия" (EPA 1997 [12]). Для рабочего по промышленному сценарию поведения, почасовая интенсивность дыхания работника в среднем составляет 1,3 м³/ч (EPA 1997). Для сценария отдыха, предполагается, что интенсивность дыхания у человека в состоянии умеренной активности на участке составляет 1,6 м³/ч (EPA 1997).

Параметр ^{б)} – RESRAD предполагает, что фермер и загородный житель проводит 50% своего времени внутри помещения на загрязненной территории. Для промышленного рабочего, предполагается, что он/она будет тратить 6 ч/сутки (1500 ч за один год) внутри помещения на загрязненном участке. В справочнике (EPA 1997) предполагается, что житель тратит в среднем 16,4 ч/сутки внутри помещения.

^{в)} – дефис указывает, что параметр является безразмерной величиной.

Параметр ^{г)} – RESRAD предполагает, что фермер и загородный житель тратит 25% своего времени, находясь на открытом воздухе на загрязненной территории. Для промышленного рабочего, предполагается, что он/она будет тратить 2 ч/сут (500 ч за один год) на открытом воздухе на загрязненном участке. В справочнике (EPA 1997) предполагается, что житель тратит в среднем 2 ч/д на открытом воздухе. Для сценария отдыха, предполагается, что он/она проводит 50 часов на открытом воздухе на загрязненной территории в течение одного года.

Параметр ^{д)} – RESRAD корректирует долю загрязненных растений, мяса и молочных продуктов на основе загрязненной территории. Значения в таблице для очень большой загрязненной территории (>20000 м² для мясной и молочной продукции и >1000 м² для растениеводческой продукции).

Параметр ^{е)} – RESRAD использует количество заглатывания почвы 36,5 г/год. Среднее значение в справочнике (EPA 1997) составляет 50 мг/сут.

Параметр ^{ж)} – RESRAD принимает, что для сельского жителя потребление воды составляет 510 л/год. Агентство по охране окружающей среды США (EPA 1997) рекомендует принимать среднее значение потребления питьевой воды 1,4 л/сут, для загородного жителя и промышленного рабочего.

В программе RESRAD значение интенсивности дыхания зависит от уровня активности человека. Учитывается четыре уровня активности человека – отдых, легкая активность, умеренная активность и тяжелая. Отдых характеризуется такими мероприятиями, как просмотр телевизора, чтение или сон. Легкая активность включает в себя ходьбу, стирку, домашнюю работу, хобби и т.д. Умеренная активность включает в себя подъем по лестнице, ремонт и т.д. Тяжелая работа состоит из энергичных физических упражнений, таких, как поднятие тяжестей, танцы, езда или велотренажер. В таблице 5 приведены значения интенсивности дыхания для мужчины, женщины и детей при разных уровнях активности (EPA 1985 [13]).

МКРЗ (1981) предполагает, если человек занимается 16 часов легкой активной деятельностью и 8 часов отдыхает, то интенсивность дыхания для взрослых мужчин составляет 23 м³/сут и 21 м³/сут для взрослых женщин, при этом среднее значение 22 м³/сут (8030 м³/год) для взрослых. Среднее значение такое же, как и в ГН СЭТОРБ РК.

Данные, представленные Агентством по охране окружающей среды США (EPA 1985) предполагают более низкие значения интенсивности дыхания при легкой активности и отдыхе. Используя то же предположение, как МКРЗ (1981), суточная норма ингаляции будет около 14 м³/сут (5110 м³/год). Для сценариев, в которых известны уровни активности, должны использоваться значения интенсивности дыхания, приведенные в таблице (таблица 5), поскольку они являются более характерными показателями.

При расчете дозы внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с продуктами питания используются значения годового потребления, представленные в таблице 6 [14].

ОБЗОР МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОЦЕНКЕ ГОДОВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОЖИВАНИИ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Таблица 5. Значения интенсивности дыхания ($m^3/ч$) для мужчины, женщины и детей при разных уровнях активности

Возрастная группа	Уровни активности			
	отдых	легкая	умеренная	тяжелая
Взрослый мужчина	0,7	0,8	2,5	4,8
Взрослая женщина	0,3	0,5	1,6	2,9
Среднее значение для взрослого человека	0,5	0,6	2,1	3,9
Ребенок, 6 лет	0,4	0,8	2,0	2,4
Ребенок, 10 лет	0,4	1,0	3,2	4,2

Таблица 6. Значения потребления овощей и фруктов, используемые в программе RESRAD

Продукты	Среднее суммарное значение потребления		Среднее суммарное потребление продуктов, выращенных на участке		Максимальное суммарное потребление продуктов, выращенных на участке	
	г/сут	кг/год	г/сут	кг/год	г/сут	кг/год
Овощи	200	73	50	18	80	29
Фрукты	140	51	28	10	42	15
Сумма	340	124	78	28	122	44

Таблица 7. Значения годового потребления продуктов питания, рассматриваемые в программе RESRAD

Продукты	Величина годового потребления продуктов, кг/год			
	Руководство нормативного регулирования Комиссии по ядерному регулированию США			значения по умолчанию в RESRAD
	ребенок	подросток	взрослый	
Мясо (говядина и птица)	37 (41) *	59 (65)	95 (110)	63
Молоко	170 (330)	200 (400)	110 (310)	92
Листовые овощи (шпинат, салат)	26	42	64	14
Рыба	2,2	5,2	6,9	**
Морепродукты	0,33 (6,9)	0,75 (16)	1,0 (21)	**
Вода (л/год)			730	510

Примечание: * – 37 – среднее значения годового потребления, (41) – максимальное значение годового потребления.
 ** – в программе RESRAD не учитывается, с какой территории чистой или загрязненной употребляются морепродукты, учитывается суммарное годовое потребление. Предполагается, что если поверхность водоема (пруд) находится на загрязненном участке, это обеспечит 50% потребляемых морепродуктов.

В таблице 7 представлены значения годового потребления, приведенные в Руководстве нормативного регулирования Комиссии по ядерному регулированию США [15] и используемые по умолчанию в программе RESRAD.

Средние значения годовой запыленности находятся в диапазоне $3,3 \times 10^{-5} - 2,54 \times 10^{-4}$ г/м³ в городских районах и 9×10^{-6} до $7,9 \times 10^{-5}$ г/м³ в не городских районах [16]. Агентство по охране окружающей среды США [17] использовали 1×10^{-4} г/м³. Среднегодовая запыленность зависит от деятельности человека, например, вспашка и культивирование сухой почвы или езда по грунтовой дороге.

Запыленность при строительных работах составляет около $6,0 \times 10^{-4}$ г/м³; при строительстве грунтовых дорог это $4,0 \times 10^{-4}$ г/м³; и для сельского хозяйства это примерно $3,0 \times 10^{-4}$ г/м³ [18]. Максимальное значение запыленности внутри кабины тяжелой строительной техники во время горных работ было установлено $1,8 \times 10^{-3}$ г/м³. Оценки массовых нагрузок были выше, чем $1,3$ г/м³ для мгновенных массовых нагрузок во время вспашки. RESRAD по умолчанию использует значение $2,0 \times 10^{-4}$ г/м³ [16].

Программа RESRAD-offsite является продолжением программы RESRAD (onsite), которая разрабо-

тана, чтобы оценить радиологические последствия на загрязненном участке или вне зоны первичного загрязнения. Данная программа имеет возможность учитывать облучение человека, находящегося как на загрязненном участке, так и за его пределами (в непосредственной близости от первичного загрязнения). В программе рассматриваются следующие пути облучения:

- внешнее облучение от загрязненной поверхности почвы;
- внутреннее облучение от ингаляционного поступления загрязненных частиц и радона;
- внутреннее облучение от перорального поступления радионуклидов от продукции растительного происхождения;
- внутреннее облучение от перорального поступления радионуклидов при употреблении мяса, молока, морепродуктов (рыба), воды и случайное заглатывание почвы.

Выбирая пути облучения, в RESRAD-offsite можно использовать различные сценарии поведения, в том числе, сценарии сельского жителя (фермера), городского жителя, рабочего и отдыхающего. Так, например, программа дает возможность оценить дозу для рабочего, когда он проводит некоторое время в

здании, расположенном либо на загрязненном участке или вне его. Также человек может потреблять продукцию, производимую на загрязненном участке или вблизи него, или же вообще не употреблять с этих территорий.

Сельскохозяйственный сценарий поведения фермера представляет собой фермера, который производит все продукты питания на участке вблизи с загрязненной территорией. Также можно учесть, что фермер покупает продукты, производимые непосредственно на загрязненном участке. Второй вариант основного сценария поведения фермера учитывает, что фермер выращивает и производит значительную часть продуктов на загрязненной территории. Это может быть и не сам фермер, а совсем другой представитель из населения, но учитывается, что человек потребляет продукты с загрязненной территории.

В сценарии городского жителя не учитываются продукты, производимые на загрязненном участке или вблизи загрязненного участка. Считается, что городской житель живет в квартире или частном доме. В данном сценарии рассматривается расположение водоснабжения и тип очистки воды, питьевая вода, бытовая вода. Возможно, вода не будет идти с загрязненного участка. Также в данном сценарии можно предположить, что городской житель может работать на загрязненном участке или вблизи него.

Для промышленного рабочего не будут учитываться также пути облучения от поступления продуктов питания, выращенных и производимых на загрязненном участке или вблизи него. Интенсивность дыхания, запыленность и заглывание пыли будут учитываться и будут разными для разных категорий персонала (работник офиса, строитель, промышленный рабочий). Также данный сценарий можно комбинировать.

В сценарии отдыха возможны многочисленные вариации, так, например, можно рассматривать спортсмена или же рыбака. Спортсмен, может заниматься как на загрязненной территории, так и вблизи нее, а рыбак может употреблять рыбу, выловленную в поверхностном водоеме на загрязненном участке.

В программе можно редактировать сценарии с учетом настоящих условий поведения человека и времени его нахождения на загрязненном участке или вблизи загрязненного участка.

В программе применяются разные уровни активной деятельности населения, интенсивности дыхания при разных видах деятельности, которые рекомендованы Агентством по охране окружающей среды США, если известны уровни активности населения, необходимо использовать значения интенсивности дыхания, представленные в таблице (таблица 5). Приведены значения среднегодовой запыленности, а также сценарии поведения населения при проживании на загрязненных территориях или на участках вблизи загрязненной территории.

Программа RaDEnvir 3.1 «Облучение населения в результате радиоактивного загрязнения окружающей среды» это компьютерная программа для оценки радиационного воздействия годовых доз для населения, проживающего на загрязненном участке. В программе рассматривается 53 радионуклида как искусственного, так и естественного происхождения. В данной программе учитывается доза от внешнего облучения от поверхностного загрязнения почвы радионуклидами, доза внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления загрязненных частиц и перорального поступления от потребления продуктов питания. Рассматриваются 6 категорий возрастной группы (взрослые, дети младше 1 года, дети 1–2 лет, дети 2–7 лет, дети 7–12 лет, дети 12–17 лет), условия проживания (сельская местность или город), время с момента выпадения (свежие выпадения <1 года, старые выпадения >1 года). При потреблении продуктов питания рассматриваются молоко, овощи (листовые овощи и ягоды), мясо (говядина, свинина, птица).

Рассчитанные дозы в данной программе консервативно представляют собой максимальную дозу для любого человека. Все параметры в программе можно изменять в соответствии с реальными условиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в РК не существует разработанных и утвержденных алгоритмов и методик по оценке дозовых нагрузок на человека, проживающего на радиоактивно-загрязненных территориях. Также в РК нет программного обеспечения по оценке доз и рисков, разработанного казахстанскими специалистами и принятого в РК. Оценка ожидаемой годовой эффективной дозы для населения, проживающего вблизи либо в пределах территорий, загрязненных в результате техногенной деятельности (в том числе, в результате проведения ядерных испытаний), в СП СЭТОРБ РК не рассматривается.

Хозяйственная деятельность, проводимая на радиоактивно-загрязненных землях, может привести к повышенному риску облучения людей радиацией. Источниками повышенного облучения могут являться радиоактивно-загрязненные объекты природной среды, а также продукты питания, получаемые и производимые на радиоактивно-загрязненной территории. Искусственные радионуклиды, поступающие в организм человека с вдыхаемым воздухом, с водой и пищей, вносят дополнительный вклад в ожидаемую годовую эффективную дозу облучения населения, которая характеризует степень радиационной опасности загрязненной территории. На территории СИП ведется санкционированная хозяйственная деятельность (разведка и добыча полезных ископаемых, геологическое обследование) и несанкционированная хозяйственная деятельность, т.е. без получения необходимых разрешительных документов (выпас скота, заготовка сена, демонтаж и вывоз металлоконструкций). Поэтому для объективной оценки доз населе-

ния при проживании и ведении деятельности на территории СИП необходимо разработать все возможные сценарии поведения человека на территории СИП.

Проанализированные методики и существующее программное обеспечение по оценке доз ближнего и дальнего зарубежья позволяют выбрать потенциальные пути облучения, основные параметры, необходимые для объективной оценки доз населения при проживании на загрязненных территориях.

Работа выполнена в рамках темы 04.03. «Экспериментально-расчетное определение зависимости «доза-эффект» для калькуляции индивидуальной поглощенной дозы человека в рамках обеспечения готовности и реагирования в радиационных чрезвычайных ситуациях» научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» на 2021–2023 гг. (ИПН BR09158470).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утв. приказом и.о. Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 155.
2. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности», утв. приказом и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 15 декабря 2020 года № ҚР ДСМ-275/2020.
3. Oatway W.B. “Methodology for Estimating The Doses to Members of the Public from the Future Use of Land Previously Contaminated with Radioactivity” / W. B. Oatway, S.F. Mobbs, Report NRPB W36 National Radiological Protection Board GteitBritanion, 2003, 7 p.
4. Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: методические указания 2.6.1. 2153-06 // под. ред. Голиков В.Ю., Брук Г.Я., Звонова И.А., Барковский А.Н. Москва, 2007, 46 с.
5. Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду: Методические указания МУ 2.6.1.2222-07 // под. ред. В.Ю. Голиков, Г.Я. Брук, М.И. Балонов. Москва. 2007.
6. Оценка средних годовых эффективных доз облучения критических групп жителей населенных пунктов Российской Федерации, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: методические указания 2.6.1.2003-05 // под ред. Брук Г.Я., Балонов М.И., Барковский А.Н., Голиков В.Ю., М.В. Кадука, Москва, 2005, 20 с.
7. SAFETY REPORTS SERIES No. 14. Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1999. – 87 p. – ISBN 92-0-100899-6.
8. Подоляк А.Г. Дозы облучения работников при проведении сельскохозяйственных операций на загрязнённой радионуклидами (¹³⁷Cs, ²⁴¹Am и ^{238,239+240}Pu) территории / А.Г. Подоляк, С.А. Тагай, В.С. Аверин, К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова // Радиация и риск.– Том 23.– № 2 – 2014 – С. 85-94.
9. Критерии категорирования радиационно и химически загрязненных территорий при реабилитации до социально приемлемого уровня. В. Ахунев, Н. Архангельский (Росатом), С. Брыкин, И. Серебряков, Н. Рознова (ФГУП ВНИИХТ), И. Крышев, Т. Сазыкина (ГУ НПО «Тайфун»), И. Линге, С. Казаков, И. Абалкина (ИБРАЭ РАН).
10. Спатаев М.Б.. Определение эффективной дозы ионизирующего излучения на персонал и население / М.Б. Спатаев, Г.Д. Вдовиченко, К.К. Кадыржанов, В.А. Кудряшев //Вестник НЯЦ РК. «Радиоэкология. Охрана окружающей среды», 2000, выпуск 3, С. 113–120.
11. U.S. Environmental Protection Agency, 1994, Estimating Radiogenic Cancer Risks, EPA 402-R-93-076, Washington, D.C.
12. U.S. Environmental Protection Agency, 1997, Health Effects Assessment Summary Tables FY-1997 Update, EPA/540/R-97/036, Washington, D.C., July.
13. U.S. Environmental Protection Agency, 1985, Development of Statistical Distributions or Ranges of Standard Factor Used in Exposure Assessments, EPA-600/8-85-010, Washington, D.C.
14. U.S. Department of Energy, 1990, “Radiation Protection of the Public and the Environment”, U.S. Department of Energy Order 5400.5.
15. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1977, Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50, Appendix 2, Regulatory Guide 1.109, Office of Standards Development, Rev. 1, Washington, D.C., Oct.
16. Gilbert T.L., et al., 1983, Pathways Analysis and Radiation Dose Estimates for Radioactive Residues at Formerly Utilized MED/AEC Sites, ORO-832 (Rev.), prepared by Argonne National Laboratory, Argonne, Ill., for U.S. Department of Energy, Oak Ridge Operations, Oak Ridge, Tenn., March (reprinted with corrections January 1984).
17. U.S. Environmental Protection Agency, 1977, Proposed Guidance on Dose Limits for Persons Exposed to Transuranium Elements in the General Environment, Office of Radiation Programs, Criteria and Standards Division, Washington, D.C.
18. Oztunali, O.I., et al., 1981, Data Base for Radioactive Waste Management, Impacts Analyses Methodology Report, NUREG/CR-1759, Vol. 3, prepared by Dames and Moore, White Plains, N.Y., for Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

REFERENCES

1. Gigenicheskie normativy «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti», utv. prikazom i.o. Ministra natsional'noy ekonomiki Respubliki Kazakhstan ot 27 fevralya 2015 goda No. 155.
2. Sanitarnye pravila «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti», utv. prikazom i.o. Ministra zdravookhraneniya Respubliki Kazakhstan ot 15 dekabrya 2020 goda No. ҚР ДСМ-275/2020.
3. Oatway W.B. “Methodology for Estimating The Doses to Members of the Public from the Future Use of Land Previously Contaminated with Radioactivity” / W. B. Oatway, S.F. Mobbs, Report NRPB W36 National Radiological Protection Board GteitBritanion, 2003, 7 p.

- Operativnaya otsenka doz oblucheniya naseleniya pri radioaktivnom zagryaznenii territorii vozduzhnym putem: metodicheskie ukazaniya 2.6.1. 2153-06 // pod. red. Golikov V.Yu., Bruk G.Ya., Zvonova I.A., Barkovskiy A.N. Moscow, 2007, 46 p.
- Prognoz doz oblucheniya naseleniya radionuklidami tseziya i strontsiya pri ikh popadanii v okruzhayushchuyu sredu: Metodicheskie ukazaniya MU 2.6.1.2222-07 // pod. red. V.Yu. Golikov, G.Ya. Bruk, M.I. Balonov. Moscow, 2007.
- Otsenka srednikh godovykh effektivnykh doz oblucheniya kriticheskikh grupp zhitel'ey naselennykh punktov Rossiyskoy Federatsii, podvergnutyykh radioaktivnomu zagryazneniyu vslledstvie avarii na Chernobyl'skoy AES: metodicheskie ukazaniya 2.6.1.2003-05 // pod red. Bruk G.Ya., Balonov M.I., Barkovskiy A.N., Golikov V.Yu., M.V. Kaduka, Moscow, 2005, 20 p.
- SAFETY REPORTS SERIES No. 14. Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1999. – 87 p. – ISBN 92-0-100899-6.
- Podolyak A.G. Dozy oblucheniya rabotnikov pri provedenii sel'skokhozyaystvennykh operatsiy na zagryaznennoy radionuklidami (^{137}Cs , ^{241}Am i $^{238,239+240}\text{Pu}$) territorii / A.G. Podolyak, S.A. Tagay, V.S. Averin, K.N. Buzdalkin, E.K. Nilova // Radiatsiya i risk. – Tom 23. – No. 2 – 2014 – P. 85-94.
- Kriterii kategorirovaniya radiatsionno i khimicheskii zagryaznennykh territoriy pri reabilitatsii do sotsial'no priemlegogo urovnya. V. Akhunov, N. Arkhangel'skiy (Rosatom), S. Brykin, I. Serebryakov, N. Roznova (FGUP VNIIEKhT), I. Kryshev, T. Sazykina (GU NPO «Tayfun»), I. Linge, S. Kazakov, I. Abalkina (IBRAE RAN).
- Spataev M.B.. Opredelenie effektivnoy dozy ioniziruyushchego izlucheniya na personal i naselenie / M.B. Spataev, G.D. Vdovichenko, K.K. Kadyrzhayev, V.A. Kudryashev // Vestnik NYaTs RK. «Radioekologiya. Okhrana okruzhayushchey sredy», 2000, Issue 3, P. 113–120.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1994, Estimating Radiogenic Cancer Risks, EPA 402-R-93-076, Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1997, Health Effects Assessment Summary Tables FY-1997 Update, EPA/540/R-97/036, Washington, D.C., July.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1985, Development of Statistical Distributions or Ranges of Standard Factor Used in Exposure Assessments, EPA-600/8-85-010, Washington, D.C.
- U.S. Department of Energy, 1990, «Radiation Protection of the Public and the Environment», U.S. Department of Energy Order 5400.5.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1977, Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50, Appendix 2, Regulatory Guide 1.109, Office of Standards Development, Rev. 1, Washington, D.C., Oct.
- Gilbert T.L., et al., 1983, Pathways Analysis and Radiation Dose Estimates for Radioactive Residues at Formerly Utilized MED/AEC Sites, ORO-832 (Rev.), prepared by Argonne National Laboratory, Argonne, Ill., for U.S. Department of Energy, Oak Ridge Operations, Oak Ridge, Tenn., March (reprinted with corrections January 1984).
- U.S. Environmental Protection Agency, 1977, Proposed Guidance on Dose Limits for Persons Exposed to Transuranium Elements in the General Environment, Office of Radiation Programs, Criteria and Standards Division, Washington, D.C.
- Oztunali, O.I., et al., 1981, Data Base for Radioactive Waste Management, Impacts Analyses Methodology Report, NUREG/CR-1759, Vol. 3, prepared by Dames and Moore, White Plains, N.Y., for Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

РАДИОАКТИВТІ ЛАСТАНҒАН АУМАҚТА ТҮРҒАН КЕЗДЕГІ АДАМНЫҢ ЖЫЛДЫҚ ТИІМДІ ДОЗАСЫН БАҒАЛАУ ЖӨНІНДЕГІ ӘДІСТЕМЕЛІК НҰСҚАУЛАР МЕН ҰСЫНЫМДАРҒА ШОЛУ

А.В. Топорова, Ю.В. Бакланова, Ю.Г. Стрельчук, А.Н. Шатров

ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Ұсынылып отырған мақалада радиоактивті ластанған аумақтарда тұрған кезде халыққа түсетін дозалық жүктемелерді бағалау жөніндегі ұсынымдарға, әдістемелік нұсқауларға және программалық жасақтамаға шолу берілген. Жақын және алыс шетелдердің дозаларды есептеу бойынша кең таралған әдістемелеріне шолу жүргізілген. Дозаларды есептік бағалау үшін қажет етілетін негізгі тәсілдер, коэффициенттер берілген. Жасанды радионуклидтер түсуінің негізгі жолдары қарастырылған. Семей сынақ полигоны аумағында адамдар тұрған кездегі әдістемелік нұсқаулар мен программалық жасақтама әзірлеу қажеттігі ұсынылған.

Түйін сөздер: жылдық тиімді доза, үлестік және беттік белсенділік, ішкі және сыртқы сәулелену, дозалық коэффициенттер, әрекет сценарийлері.

**REVIEW OF METHODIC INSTRUCTIONS AND RECOMMENDATIONS
FOR EVALUATION OF ANNUAL EFFECTIVE DOSE TO HUMAN BEING
IN CASES OF LIVING AT RADIOACTIVE CONTAMINATED AREAS**

A.V. Toporova, Yu.V. Baklanova, Yu.G. Strilchuk, A.N. Shatrov

Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The proposed paper provides a review of recommendations, methodic instructions and software for evaluation of exposure doses to population domiciling radioactive contaminated territories. There is a review of dose calculation methods which are most common in neighbouring countries and beyond. The paper presents basic approaches, factors required for dose assessment with review of main pathways for artificial radionuclides intake. It addresses the need to develop methodic instructions and software for the cases of people living at Semipalatinsk test site area.

Keywords: *effective annual dose, specific and surface activity, internal and external exposure, dose factors, behavior scenario.*