

А.А. Молоканов, М.И. Грачев, Ю.А. Саленко, Г.П. Фролов, А.Г. Цовьянов, И.К. Теснов, В.В. Барчуков

АЛГОРИТМЫ ДЕЙСТВИЙ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ АВАРИЙНОГО МЕДИЦИНСКОГО РАДИАЦИОННОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Юрий Анатольевич Саленко, e-mail: salenkoua@gmail.com

РЕФЕРАТ

Цель: Рассмотреть алгоритмы оценки радиационной обстановки и медико-санитарных последствий при радиационных аварийных ситуациях различного типа, используемые экспертной группой Аварийного медицинского радиационного дозиметрического центра (АМРДЦ) ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Материал и методы: Использована совокупность методов и моделей, позволяющих осуществлять предварительные прогнозные оценки для принятия решений о проведении защитных и медико-санитарных мероприятий.

Результаты: Рассмотрены алгоритмы работы экспертной группы АМРДЦ, апробированные в течение более чем 25-летнего опыта аварийного медицинского реагирования при радиационных инцидентах и в ходе проведения противоаварийных учений и тренировок. Представленные алгоритмы отражают последовательность экспертных оценок, начиная от параметров источника опасности и условий формирования доз до подготовки рекомендаций по защитным мерам и оценки класса радиационной аварии по Международной шкале INES. Необходимость в проведении быстрых, предварительных расчетов, как правило, сопряжена с неопределенностями в результатах оценок на каждом этапе прогнозирования. В то же время реалистичная оценка последствий аварийной ситуации может быть выполнена по данным дозиметрических измерений на местности или по результатам клинко-дозиметрического обследования пострадавших.

Ключевые слова: радиационная авария, аварийный медицинский радиационный дозиметрический центр, алгоритм действий, экспертная поддержка, защитные мероприятия

Для цитирования: Молоканов А.А., Грачев М.И., Саленко Ю.А., Фролов Г.П., Цовьянов А.Г., Теснов И.К., Барчуков В.В. Алгоритмы действий экспертной группы аварийного медицинского радиационного дозиметрического центра при различных сценариях радиационных аварий // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 2. С. 49–56. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-2-49-56

А.А. Molokanov, M.I. Grachev, Yu.A. Salenko, G.P. Frolov, A.G. Tsovyanov, I.K. Tesnov, V.V. Barchukov

The Expert Group Actions Algorithms of the Emergency Medical Radiation Dosimetry Center in Various Scenarios of Radiation Accidents

A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: Yu.A. Salenko, e-mail: salenkoua@gmail.com

ABSTRACT

Purpose: Consideration of experts group algorithms for assessing the radiation situation and its health care consequences during various types of radiation emergencies used in Emergency Medical Radiation Dosimetry Center (EMRDC) of A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center.

Material and methods: The algorithms include a set of methods and models, the use of which allows for a preliminary predictive assessment for making decisions on the implementation of protective and health care actions.

Results: Based on the analysis and systematization of 25 years of experience, the algorithms for the work of the EMRDC expert group during radiation incidents and during emergency exercises and training are presented. The presented algorithms reflect the sequence of expert assessments, starting from the parameters of the hazard source and the conditions of dose formation, and ending with the preparation of recommendations for protective measures and determination of the class of radiation accident according to the International Nuclear Safety Scale (INES). As a rule, conducting preliminary calculations in a short time frame is associated with uncertainties in the results of assessments at each stage of forecasting. At the same time, the objectivity of assessing the consequences of a radiation incident is increased by using data from direct dosimetric measurements or the results of clinical-dosimetric examination of victims.

Keywords: radiation accident, emergency medical radiation dosimetry center, actions algorithm, expert support, protective measures

For citation: Molokanov AA, Grachev MI, Salenko YuA, Frolov GP, Tsovyanov AG, Tesnov IK, Barchukov VV. The Expert Group Actions Algorithms of the Emergency Medical Radiation Dosimetry Center in Various Scenarios of Radiation Accidents. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(2):49–56. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-2-49-56

Введение

Данная статья посвящена памяти Андрея Алексеевича Молоканова, видного ученого в области дозиметрии внутреннего облучения и отражает только небольшую часть его многогранной деятельности в области экспертной поддержки Аварийного медицинского радиационного дозиметрического центра (АМРДЦ) ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

Прерогативой деятельности экспертной группы АМРДЦ является оценка факторов радиационной аварии (РА) с целью выработки рекомендаций по медико-санитарному обеспечению персонала и населения, находящихся в зоне ответственности ФМБА России.

Опыт ликвидации последствий радиационных аварий свидетельствует, что в начальный период ее развития может иметь место некорректность или отсутствие исходной информации. В этих условиях подготовка рекомендаций возможна на основе консервативных допущений в рамках типовых сценариев или предположений о схожести с ранее произошедшими событиями.

Работа АМРДЦ осуществляется в тесном взаимодействии с Центрами научно-технической поддержки (ЦНТП) АО «Концерн Росэнергоатом» в составе ведущих научных учреждений – ИБРАЭ РАН, НПО «Тайфун», ВНИИАЭС и др. (рис. 1). Большое значение при решении задач аварийного реагирования принадлежит информационному взаимодействию АМРДЦ с АО «Аварийно-технический центр Росатома» – профессиональным аварийно-спасательным формированием.



Рис. 1. Обсуждение результатов противоаварийного учения в режиме ВКС (Грачев М.И. и Молоканов А.А.) с участием ЦНТП АО «Концерн Росэнергоатом».

Fig. 1. Discussion of the results of emergency exercise in videoconferencing mode (Grachev M.I. and Molokanov A.A.) with the participation of the scientific and technical support Centers of JSC Concern Rosenergoatom.

Общие процедуры проведения оценок

Общие процедуры проведения оценок и подготовки рекомендаций направлены на поэтапное осуществление защитных и медико-санитарных мероприятий. Для гарантированного исключения детерминированных эффектов требуется рассматривать наихудшие условия аварийного облучения и сценарии формирования доз. При этом максимальные значения оцененных доз сравниваются непосредственно с пороговыми значениями детерминированных эффектов [1–4].

Основными этапами решения задач экспертной поддержки являются:

- 1) получение необходимой информации о типе РА и параметрах источника ионизирующего излучения (ИИИ);

- 2) определение факторов радиационного воздействия на персонал и население, необходимых дозовых величин аварийного реагирования и дозовых операционных величин;
- 3) выбор модели распространения ИИИ и проведение прогностической оценки уровней облучения персонала и населения;
- 4) подготовка рекомендаций по защитным мерам и предварительная оценка возможных медико-санитарных последствий;
- 5) классификация масштаба РА и планирование долгосрочных мероприятий, включая мониторинг состояния здоровья населения.

Типизация аварийной ситуации

Сокращение сроков оценки аварийной ситуации достигается за счет наличия проектной документации и заранее разработанных сценариев РА. Алгоритм действий на данном этапе представлен на рис. 2.

В табл. 1 представлены исходные события и факторы облучения персонала при, главным образом, запроектных радиационных авариях на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), при которых возможно облучение персонала в дозах на уровне порогов детерминированных эффектов. В большинстве аварийных ситуаций динамика радиационной обстановки обусловлена скоростью физических процессов выхода радиоактивных продуктов через защитные барьеры по системам вентиляции, протечки трубопроводов, работой спринклерных систем и т.д., оседанием аэрозолей на различные поверхности в помещениях. Экспертные оценки параметров ИИИ могут включать сведения о способе образования источника, о его радионуклидном составе и общей (суммарной) активности.

Дозиметрические величины аварийного реагирования и дозовые операционные величины¹

Параметры ИИИ, установленные на первом этапе, дают информацию, необходимую и достаточную для определения факторов радиационного воздействия на человека, а также соответствующих данному фактору дозиметрических и операционных величин.

Для оценки детерминированных эффектов используется ОБЭ-взвешенная поглощенная доза. ОБЭ-взвешенная усредненная поглощенная доза в органе или ткани определяется как произведение усредненной поглощенной дозы излучения в органе или ткани и относительной биологической эффективности. При оценке риска развития серьезных детерминированных эффектов в органе или ткани после поступления радионуклида внутрь организма используется ожидаемая ОБЭ-взвешенная доза², накопленная за определенный период.

В табл. 2 приведены значения коэффициентов ОБЭ для развития тяжелых детерминированных эффектов при внешнем и внутреннем облучении.

¹ В данном случае под операционными величинами понимается не только индивидуальный эквивалент дозы, $H_p(10)$ и амбиентный эквивалент дозы (амбиентная доза) $H^*(d)$, используемые, как правило, в практике индивидуального дозиметрического контроля, но и другие измеряемые величины, такие как активность радионуклида в теле, оцениваемая по результатам измерения на СИЧ, или МАЭД γ -излучения на расстоянии 10 см от поверхности кожи для предварительной оценки дозы в результате поверхностного загрязнения радиоактивными веществами [7].

² Первоначально ОБЭ-взвешенная доза выражалась в грей-эквивалентах (Гр-экв.), в настоящее время единица измерения ОБЭ-взвешенной дозы – Грей (Гр).

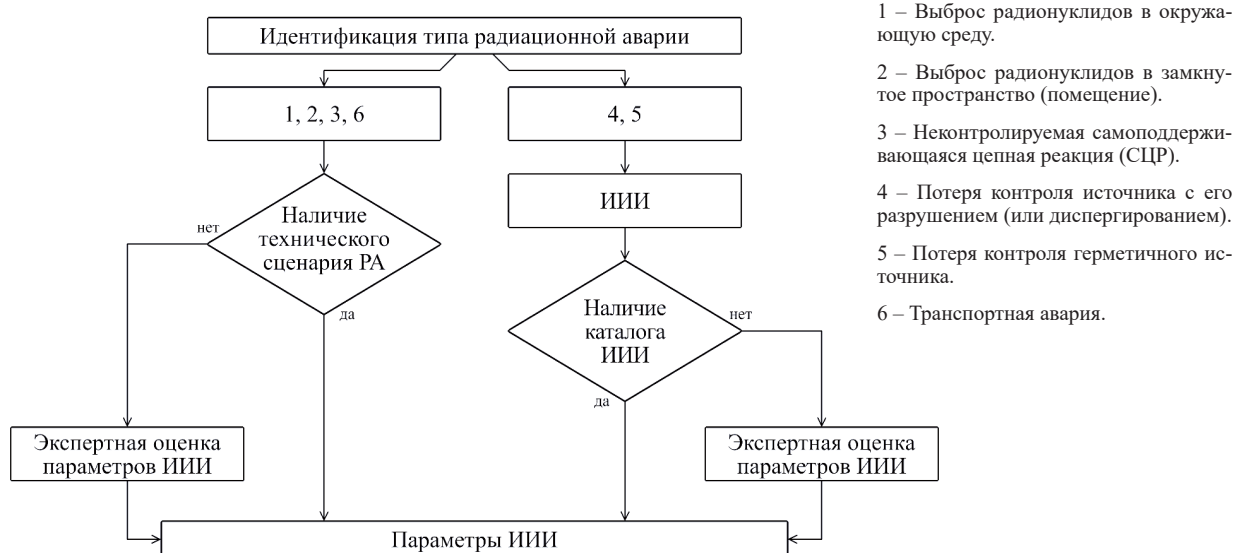


Рис. 2. Алгоритм действий на этапе оценки типа радиационной аварии
 Fig. 2. Algorithm of actions at the stage of assessing the type of radiation accident

Таблица 1

Исходные события и возможные последствия облучения персонала в случае радиационной аварии
Initial events and possible consequences of personnel exposure because of a radiation accident

Исходное событие и нарушение барьеров безопасности	Факторы и возможные последствия облучения персонала
<i>Энергетические и промышленные ядерные реакторы, бассейны выдержки, приреакторные хранилища отработанного ядерного топлива</i>	
Большая течь теплоносителя. Потеря электроснабжения собственных нужд. Нарушение охлаждения активной зоны реактора и бассейнов выдержки. Возникновение экзотермической реакции $Zr+H_2O$. Взрыв. Пожар. Заклинивание отработанных тепловыделяющих сборок (ОТВС) в технологическом канале. Поломка средств дистанционного извлечения. Ошибка или неисправность, приведшая к падению чехлов ОТВС и их разгерметизации. Образование критической массы и возникновение СЦР	Вероятны высокие значения МАЭД γ -излучения в помещениях от оголенных и разрушенных ТВЭЛов, а также в результате загрязнения РВ поверхностей помещений и оборудования. Доза внешнего облучения может быть на уровне и выше порогов детерминированных эффектов. Возможно сильное загрязнение открытых участков кожи, ингаляционное поступление в организм радиоактивных изотопов йода и долгоживущих продуктов деления (ПД). Необходимо учитывать вероятность комбинированных и сочетанных поражений, включая термические ожоги. Необходимо учитывать дозу внешнего γ -, β -облучения в результате загрязнения поверхностей помещений и оборудования
<i>Радиохимическое производство и хранилища высокоактивных жидких радиоактивных отходов</i>	
Нарушение регламента работ. Непредвиденные технические нарушения и поломки. Образование условий для создания критической массы и возникновения СЦР. Возможен осциллирующий характер СЦР. Нарушения и неисправности при выполнении операций по растворению и выделению радиоактивных материалов, приводящие к разогреву и взрывному газовыделению. Протечки и выход радиоактивных веществ в воздух производственных помещений в результате коррозии трубопроводов и арматуры, неисправности в работе систем вентиляции и вытяжных систем. Ошибочные действия персонала по обслуживанию оборудования	Высокие уровни загрязнения помещений и оборудования α -, γ -, β -излучающими радионуклидами. Возможно ингаляционное и раневое поступление в организм работников изотопов плутония и урана. Необходимо учитывать вероятность комбинированных и сочетанных поражений, включая химические и термические ожоги. Наибольшую опасность и сложность в оценке представляет внутреннее облучение в результате ингаляции актинидов
<i>Обращение с радиоактивными отходами (РАО)</i>	
Поломки оборудования при подготовке и перемещении РАО в пункты захоронения. Нарушение целостности матрицы, выход ядерных материалов за пределы барьеров, попадание воды в хранилище, образование гетерогенной критической массы с последующим возникновением СЦР. Нарушение целостности упаковки (пенала) в результате падения. Нарушения и неисправности в системе охлаждения хранилища жидких высокоактивных отходов. Нарушение целостности стенок хранилища в результате коррозии. Протечки и выход радиоактивных веществ при закачке жидких высокоактивных РАО в подземные горизонты	Высокие уровни загрязнения помещений и оборудования α -, γ - и β -излучающими радионуклидами. Ингаляционное поступление в организм ПД, изотопов плутония и урана. Необходимо учитывать возможность комбинированных и сочетанных поражений, включая химические и термические ожоги
<i>Самоподдерживающаяся цепная реакция (СЦР)</i>	
В большинстве случаев возникновение условий для образования критической массы с последующим возникновением СЦР обусловлено нарушением требований и инструкций по обращению с ядерными материалами	Число облученных лиц, как правило, не превышает нескольких человек. Дозы внешнего γ - и n -облучения всего тела могут составить несколько Гр и сформироваться в течение долей секунды (при одиночной вспышке). Возможен крайне неравномерный характер распределения дозы в различных частях тела и органах. Ингаляционное поступление в организм радиоактивных изотопов йода и других ПД. Необходимо учитывать вклад в дозу рассеянного излучения от поверхностей стен и оборудования (для небольших помещений вклад в общую дозу фактора обратного рассеяния может составлять до 20 %)

Таблица 2

Коэффициенты ОБЭ для конкретных тканей и видов излучения, приводящих к развитию серьезных детерминированных эффектов [5, 6]**RBE coefficients for tissues and types of radiation leading to the serious deterministic effects [5, 6]**

Эффект – облучаемый орган	Облучение ³	ОБЭ
Гематологический синдром – красный костный мозг	Фотоны при любом облучении	1
	Нейтроны при любом облучении	3
	β -излучатели при внутреннем облучении	1
	α -излучатели при внутреннем облучении	2
Пневмония – альвеолярно-интерстициальный отдел легких	Фотоны при любом облучении	1
	Нейтроны при любом облучении	3
	β -излучатели при внутреннем облучении	1
	α -излучатели при внутреннем облучении	7
Кишечный синдром – тонкая кишка (при внешнем облучении) или толстый кишечник (при внутреннем облучении)	Фотоны при любом облучении	1
	Нейтроны при любом облучении	3
	β -излучатели при внутреннем облучении	1
	α -излучатели при внутреннем облучении	0
Некроз – мягкие ткани	Фотоны при внешнем облучении	1
	Нейтроны при внешнем облучении	3
Влажное отшелушивание (десквамация) – дерма кожи	Фотоны и β -частицы при внешнем облучении	1
	Нейтроны при внешнем облучении	3
Острый радиационный тиреоидит, гипотиреоз – щитовидная железа	Поступление изотопов йода	0,2
	Другие радионуклиды, накапливающиеся в щитовидной железе	1
Лучевая катаракта – хрусталик глаза	Фотоны и β -частицы при внешнем облучении	1
	Нейтроны при внешнем облучении	3
Поражение зародыша или плода	Фотоны при внешнем облучении	1
	Нейтроны при внешнем облучении	10

¹ Внешнее β -, γ -облучение включает дозу от тормозного излучения, возникающего в материале источника.

На рис. 3 представлен алгоритм использования дозовых величин аварийного реагирования и дозовых операционных величин. Способы перехода от измеряемой операционной величины к искомым значениям дозы определяют по соответствующим методикам, в том числе путем использования дозовых коэффициентов [5, 8]. Значения операционных величин, которые используют для принятия решений по защитным мерам в начальный период аварии, называют *операционными критериями* или *производными уровнями вмешательства (ПУВ)*. Следует подчеркнуть, что принятие решения не должно являться прямым следствием оцениваемых значений ПУВ и требует проведения дополнительных дозиметрических исследований [9] по оценке радиационной обстановки на территории.

Выбор модели переноса ИИИ и формирования дозы

Параметры источника и способы его распространения в значительной степени определяются типом РА. Алгоритм действий на данном этапе представлен на рис. 4.

Типы аварий 1–3 и 6, рассматриваемые для ОИАЭ и при транспортировании радиоактивных материалов, как правило, определены в проектной и технической документации, разработаны соответствующие модели и программное обеспечение для решения задач по противоаварийному реагированию. Типы аварий 4 и 5 являются наиболее неопределенными с точки зрения параметров ИИИ и его распространения. Применительно к гипотетической ситуации радиологического терроризма алгоритмы оценки угроз и радиационных последствий поданных сценариев рассмотрены в монографии [10].

Корректировка параметров модели дает информацию для уточнения и формирования прогностической оценки уровней облучения персонала и населения, которая циклически обновляется по мере получения и обработки данных.

Основным фактором облучения персонала при большинстве сценариев РА является внешнее γ -облучение всего тела от протяженных плоских или объемных источников (трубопроводы, механизмы и оборудование, поверхности помещения и территория промзоны). Облучение открытой кожи в результате вторичного загрязнения, как правило, не является ведущим и требует относительно продолжительного времени для формирования местных лучевых поражений. Перкутанное поступление или резорбция через раневую поверхность может иметь значимые отдаленные эффекты в отношении плутония и других актинидов.

Ключевым фактором, снижающим неопределенности в оценке доз облучения персонала, является система дозиметрического контроля и, в частности, наличие индивидуальных дозиметров, регистрирующих параметры внешнего γ -, n -излучения в аварийном диапазоне доз. Однако детальная оценка доз и условий облучения возможна только по результатам расследования спустя определенное время.

Оценка радиационных последствий и немедленное реагирование

Прогностическая оценка уровней облучения персонала и населения с учетом динамики формирования доз и их зависимости от направления и расстояния от ИИИ определяет возможные медико-санитарные последствия, а также позволяет установить операционные критерии для реагирования. Алгоритм действий на данном этапе представлен на рис. 5.

Оценка доз облучения населения и сравнение результатов прогноза выброса с критериями для проведения срочных и неотложных защитных мер, включая йодную профилактику, осуществляются исходя из консервативных допущений. Например, предположение о достижении за короткий период времени значений доз на уровне порогов детерминированных эффектов ос-

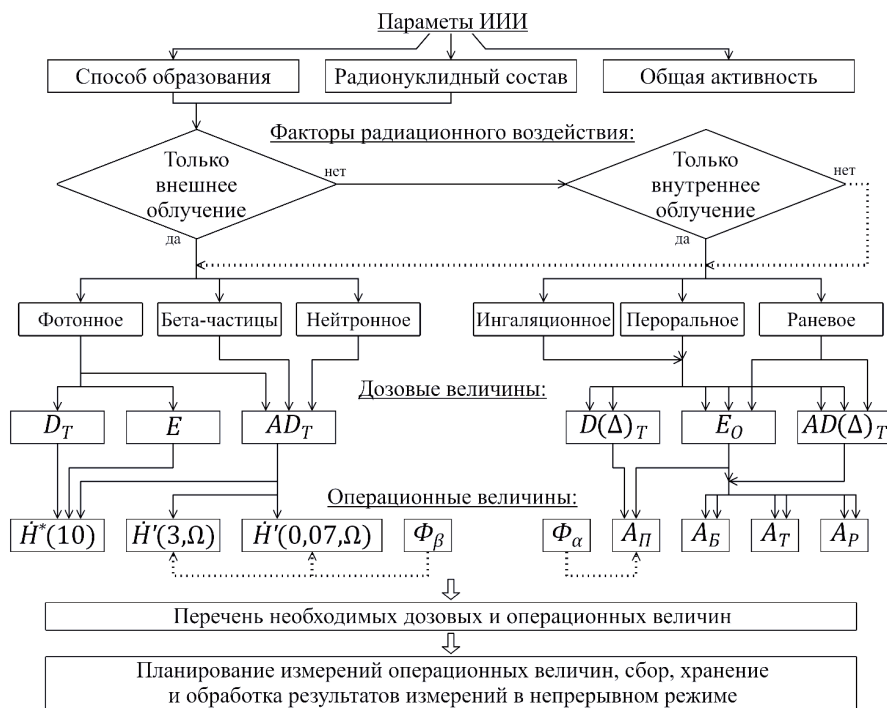


Рис. 3. Алгоритм использования дозовых величин аварийного реагирования и дозовых операционных величин

Fig. 3. Algorithm for using emergency response dose values and operational dose values

Примечание:**Дозовые величины аварийного реагирования:**

D_T – Поглощенная доза за счет внешнего облучения на все тело или в органе, или в ткани за заданный промежуток времени (за первые 10 сут), Гр.

E – Эффективная доза за счет внешнего облучения за заданный промежуток времени (за первый год и за последующие годы), Зв.

AD_T – ОБЭ-взвешенная доза в органе или ткани за счет кратковременного внешнего облучения (<10 ч), Гр.

$D(\Delta)_T$ – Поглощенная доза за счет внутреннего облучения на все тело или в органе, или в ткани за первые 10 сут, Гр.

E_O – Ожидаемая эффективная доза при внутреннем облучении за заданный промежуток времени (за первый год и за последующие годы), Зв.

$AD(\Delta)_T$ – ОБЭ-взвешенная доза в органе или ткани за счет внутреннего облучения за промежуток времени $\Delta = 30$ дн, Гр.

Дозовые операционные (измеряемые) величины:

$H^*(10)$ – Мощность амбиентного эквивалента дозы, Зв/ч, мЗв/ч, мкЗв/ч.

Φ_β – Плотность потока бета-частиц, част/(см²·мин). Предназначена для расчета: $H'(3, \Omega)$ – мощности направленного эквивалента дозы внешнего облучения хрусталика глаза, Зв/ч и $H'(0,07, \Omega)$ – мощности направленного эквивалента дозы внешнего облучения кожи, кистей и стоп, Зв/ч.

Φ_α – Плотность потока альфа-частиц, част/(см²·мин).

$A_{П}$ – Активность радионуклида в воздухе, питьевой воде, продуктах и других пробах (окружающей среды), Бк.

$A_Б$ – Активность радионуклида в биопробах (моча, кал и др.), Бк.

A_T – Активность радионуклида в теле (органе, ткани) человека, Бк.

$A_Р$ – Активность радионуклида в ране, Бк.



Рис. 4. Алгоритм уточнения расчетных моделей по результатам проведения дозиметрических исследований

Fig. 4. Algorithm for refining calculation models based on the results of dosimetric studies



Рис. 5. Подготовка рекомендаций для неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии

Fig. 5. Preparation of recommendations for urgent decisions in the initial period of a radiation accident

новывается на результатах моделирования распространения выброса и расчета доз без учета защитных мер. При этом совокупность мер защиты должна быть применена в первую очередь к беременным женщинам на любых сроках беременности и к детям. В то же время, решение об эвакуации части или всего населения населенного пункта должно быть подтверждено данными о МАЭД γ -излучения на территории населенного пункта и результатами радиационной разведки на маршруте эвакуации. Процесс оптимизации всего комплекса мер защиты (стратегии защиты) должен быть основан на референсных уровнях, представляющих собой уровни дозы или риска по всем путям облучения, выше которых облучение критической группы населения неприемлемо, а ниже которого требуется оптимизация радиационной защиты. Согласно Публикации МКРЗ 103 [2], максимальные референсные уровни остаточных доз облучения в результате аварии находятся в диапазоне

от 20 до 100 мЗв по прогнозируемой дозе. Ожидаемые остаточные дозы для выбранной стратегии защиты должны сравниваться с референсными уровнями при проведении предварительной оценки приемлемости варианта такой стратегии. Стратегия защиты, при внедрении которой не произойдет снижения остаточных доз ниже референсных уровней, должна быть снята из рассмотрения. После принятия решения о немедленном реагировании может быть оценено распределение прогнозируемых остаточных доз. При этом референсные уровни используются для оценки эффективности защитных стратегий и необходимости их изменения или проведения дополнительных мероприятий. Облучение как выше, так и ниже референсного уровня является предметом оптимизации защиты с особым вниманием тому облучению, которое превышает референсный уровень.

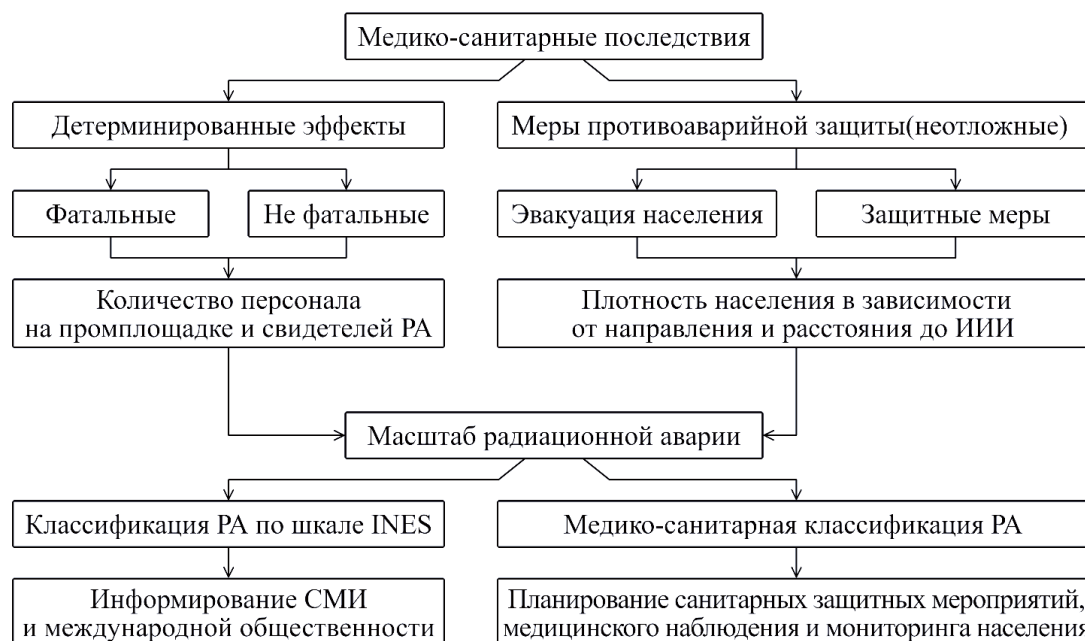


Рис. 6. Алгоритм оценки масштаба медико-санитарных последствий

Fig. 6. Algorithm for health consequences assessing

Определение масштаба радиационной аварии

Итоговым этапом является оценка класса (масштаба) РА [11–13]. Международная шкала ядерных и радиологических событий (INES) [13] предусматривает три различных группы оценок: воздействие на людей и окружающую среду; воздействие на радиологические барьеры и контроль на установках; воздействие на глубоководную защиту. Следует отметить, что для аварийных уровней 4–7 INES были разработаны критерии, основанные на количественной оценке выброса радиоактивного материала, а не полученной дозы. В то же время INES может применяться к любой аварийной ситуации, в том числе связанной с транспортировкой (перевозкой), хранением и использованием радиоактивного материала и ИИИ.

Оценка масштаба медико-санитарных последствий на основе результатов прогноза проводится с учетом численности облученных лиц и тяжести медико-санитарных последствий. Опыт имевших место РА и инцидентов свидетельствует, что подобного рода оценки требуют уточнения параметров ИИИ и анализа условий формирования индивидуальной дозы в результате внешнего и внутреннего облучения. При оценке тяжести состояния пострадавших используются клинические проявления радиационного воздействия. Алгоритм действий на данном этапе представлен на рис. 6.

Ранее нами была опубликована медицинская классификация последствий РА [14]. Однако она не закреплена в форме обязательных требований. С другой стороны, директивно введенная классификация природных и техногенных чрезвычайных ситуаций [15], на наш взгляд, требует уточнения в отношении РА.

Экспертная поддержка на месте проведения работ

Как уже подчеркивалось, важным элементом экспертной поддержки является получение дозиметрической и медицинской информации с места РА.

Консультативная поддержка по мерам защиты персонала и населения, участие в организации и проведении медико-санитарных мероприятий осуществляется силами специализированной радиологической бригады (СРБ) ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. СРБ оснащена комплексом современных дозиметрических приборов и оборудования, средствами навигации и связи. В настоящее время решены вопросы отладки единого цифрового пространства экспертной группы АМРДЦ и СРБ, включая получение и передачу результатов измерения, а также путем прямого диалога экспертов в режиме ВКС (рис. 7).

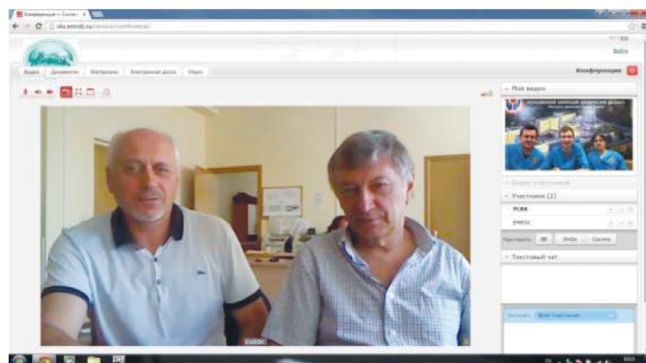


Рис. 7. Работа экспертов (Молоканов А.А. и Абрамов Ю.В.) в режиме ВКС с выездной специализированной радиологической бригадой

Fig. 7. Work of experts (Molokanov A.A. and Abramov Yu.V.) in videoconferencing mode with a mobile specialized radiological team

Заключение

Интерпретация результатов проводимых оценок и рекомендуемые решения по минимизации последствий РА опираются на современную научную основу, включая принимаемые значения доз для порогов детерминированных эффектов облучения и приемлемые риски стохастических эффектов.

В то же время, на наш взгляд, использование действующих НРБ-99/2009 в реальной практике аварийного реагирования может вызвать различное толкование у экспертов. Это связано со сложностью оценки так называемой предотвращаемой дозы и использованием двухуровневой шкалы критериев (А и Б) для принятия решений в начальном периоде РА, которые на практике никогда не применялись. Требуется уточнение критериев по неотложным защитным мерам, установленных в НРБ-99/2009, и их гармонизация с международными рекомендациями МКРЗ [2] и МАГАТЭ [3], в том числе с учетом утвержденных в ФМБА России методических рекомендаций по проведению йодной профилактики [16].

Важным элементом организации экспертной поддержки является необходимость дальнейшего развития и совершенствования межведомственного взаимодействия и прямого диалога ведущих экспертов ЦНТП, что обуславливает комплексную оценку аварийной ситуации и обеспечивает эффективность проведения защитных, в том числе, медико-санитарных мероприятий.

Понимание необходимости в использовании производных уровней вмешательства (ПУВ) нашло отражение в постоянно обновляемых рекомендациях МАГАТЭ по данному разделу аварийного реагирования [9]. В то же время в отечественных нормативных документах имеется только фрагментарные попытки закрепления данного подхода [17]. При этом имеющаяся система международных ПУВ имеет хорошее обоснование в случае РА, характерных для легководных типов энергетических ядерных установок.

В недавней публикации [18] предложен подход, предусматривающий применение уровней действия в аварийной ситуации (УДАС) для распознавания и классификации РА на ОИАЭ. Применение УДАС исключает необходимость проведения на начальном этапе аварии расчетов доз и их сравнения с общими критериями для принятия решений по мерам защиты населения.

Рассмотренные алгоритмы экспертной поддержки со стороны АМРДЦ по проведению защитных и медико-санитарных мероприятий в случае РА могут быть использованы не только в рамках процедуры начального этапа реагирования, но и в дальнейшем при проведении клинко-дозиметрического обследования пострадавших.

Оценка индивидуальной дозы облучения пострадавших, имеющих клинические проявления, может быть верифицирована только при наличии всей информации по условиям облучения и результатам клинко-дозиметрического обследования.

В работе [19] также сделан вывод, что для обеспечения адекватного реагирования на аварийное облучение следует ввести в отечественную практику аварийного реагирования величину ОБЭ-взвешенной дозы облучения органа или ткани.

При планировании и проведении противоаварийных тренировок и учений, направленных на обеспечение готовности экспертных групп ЦНТП, включая АМРДЦ, требуется отработка сценариев аварийной ситуации с максимальным приближением к особенностям формирования радиационной обстановки и результатам дозиметрических исследований лиц, вовлеченных в РА.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523–09. М., 2009.
2. ICRP. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. 2007. Vol. 37. No.2-4.
3. IAEA. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Requirements No. GSR Part 7. Vienna: IAEA, 2015.
4. IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements No. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2014.
5. IAEA. Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values). EPR-D-Values. Vienna: IAEA, 2006.
6. IAEA. Generic Procedures for Medical Response during a Nuclear or Radiological Emergency. EPR-MEDICAL. Vienna: IAEA, 2024.
7. Грачев М.И., Саленко Ю.А., Абрамов Ю.В., Фролов Г.П., Клочков В.Н., Кухта Б.А., Теснов И.К. Операционные величины радиоактивного загрязнения кожи в случае радиационной аварии // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2020. Т.3. №65. С. 20-26. doi: 10.12737/1024-6177-2020-65-3-20-26.
8. Арутюнян Р.В., Бакин Р.И., Киселев А.А., Красноперов С.Н., Шведов А.М., Шикин А.В., Шинкарев С.М. Об использовании дозовых коэффициентов в программных комплексах оценки и прогнозирования радиационной обстановки при аварийных ситуациях // Радиация и риск. 2019. Т.1. №28. С. 92-99. doi: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-92-102.
9. IAEA. Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies and Methodology for Their Derivation. EPR-NPP-OILs. Vienna: IAEA, 2017.
10. Грачев М.И., Квачева Ю.Е., Криминский А.А. и др. Медицинские аспекты противодействия радиологическому и ядерному терроризму / Под общей ред. Л.А.Ильина. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2018. 392 с.
11. Положение о порядке расследования и учета нарушений в работе объектов ядерного топливного цикла. НП-047-11. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. М.: Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, 2011. 29 с.
12. Требования к планированию и обеспечению готовности к ликвидации последствий аварий при транспортировании грузов радиоактивных материалов. НП-074-23. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. М.: Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, 2023. 21 с.
13. IAEA. INES. The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual. 2008 Edition. Vienna: IAEA, 2013.
14. Организация санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при радиационных авариях: Руководство. М.: ВЦМК «Защита», 2005. 524 с.
15. Об установлении критериев информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: Приказ МЧС России от 05.07.2021 № 429.
16. Лягинская А.М., Ермалицкий А.П., Осипов В.А. и др. Проведение йодной профилактики населению в случае возникновения радиационной аварии: Методические рекомендации. М.: ФМБА России, 2023. 24 с.
17. Производные уровни вмешательства в случае аварии на атомной станции: Методические указания. М.: ФМБА России, 2008.
18. Курындин А.В., Шаповалов А.С., Иванов Е.А., Кутков В.А. Концептуальные основы принятия решений о мерах защиты населения в случае радиационной аварии: смена парадигмы // Ядерная и радиационная безопасность. 2024. Т.4. №114. С. 5-22.
19. Кутков В.А. Величины в радиационной защите и безопасности // АНРИ. 2007. Т.3. №50. С. 2-25.

REFERENCES

1. Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary Rules and Regulations. SanPiN 2.6.1.2523–09. Moscow Publ., 2009 (In Russ.).
2. ICRP. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. 2007. Vol. 37. No.2-4.
3. IAEA. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Requirements No. GSR Part 7. Vienna, IAEA, 2015.
4. IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements No. GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2014.
5. IAEA. Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values). EPR-D-Values. Vienna, IAEA, 2006.
6. IAEA. Generic Procedures for Medical Response during a Nuclear or Radiological Emergency. EPR-MEDICAL (2024). Vienna, IAEA, 2024.
7. Grachev M.I., Salenko Yu.A., Abramov Yu.V., Frolov G.P., Klochkov V.N., Kukhta B.A., Tesnov I.K. Operational Values of Radioactive Contamination of the Skin in the Event of a Radiation Accident. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2020;3;65:20-26 (In Russ.). doi: 10.12737/1024-6177-2020-65-3-20-26.
8. Arutyunyan R.V., Bakin R.I., Kiselev A.A., Krasnoperov S.N., Shvedov A.M., Shikin A.V., Shinkarev S.M. On the Use of Dose Coefficients in Software Packages for Assessing and Predicting the Radiation Situation in Emergency Situations. *Radiatsiya i Risk* = Radiation and Risk. 2019;1;28:92-99 (In Russ.). doi: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-92-102.
9. IAEA. Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies and Methodology for Their Derivation. EPR-NPP-OILs. Vienna, IAEA, 2017.
10. Grachev M.I., Kvacheva Yu.Ye., Kriminskiy A.A., et al. *Meditsinskiye Aspekty Protivodeystviya Radiologicheskomu i Yadernomu Terrorizmu* = Medical Aspects of Counteracting Radiological and Nuclear Terrorism. Ed. II'in L.A. Moscow, FMBTS im. A.I. Burnazyana Publ., 2018. 392 p. (In Russ.).
11. Regulation on the Procedure for Investigating and Recording Violations in the Operation of Nuclear Fuel Cycle Facilities. NP-047-11. Federal Norms and Rules in the Field of Atomic Energy Use. Moscow, Nauchno-Tekhnicheskii Tsentr po Yadernoy i Radiatsionnoy Bezopasnosti Publ., 2011. 29 p. (In Russ.).
12. Requirements for Planning and Ensuring Preparedness for the Elimination of Consequences of Accidents during the Transportation of Radioactive Materials. NP-074-23. Federal Norms and Rules in the Field of Atomic Energy Use. Moscow, Nauchno-Tekhnicheskii Tsentr po Yadernoy i Radiatsionnoy Bezopasnosti Publ., 2023. 21 p. (In Russ.).
13. IAEA. INES. The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual. 2008 Edition. Vienna, IAEA, 2013.
14. Avetisov G.M., Antipin B.Ye., Barabanova A.V., et al. *Organizatsiya Sanitarno-Gigiyenicheskikh i Lechebno-Profilakticheskikh Meropriyatiy pri Radiatsionnykh Avariakh* = Organization of Sanitary-Hygienic and Medical-Preventive Measures in Case of Radiation Accidents. Ed. II'in L.A.: Manual. Moscow, VTSMK «Zashchita» Publ., 2005. 524 p. (In Russ.).
15. On Establishing Criteria for Information on Emergency Situations of Natural and Man-Made Nature: Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated July 5, 2021 No.429 (In Russ.).
16. Lyaginskaya A.M., Yermalitskiy A.P., Osipov V.A., et al. *Provedeniye Yodnoy Profilaktiki Naseleniyu v Sluchaye Vozniknoveniya Radiatsionnoy Avarii* = Conducting Iodine Prophylaxis to the Population in the Event of a Radiation Accident. Methodological Recommendations. Moscow, FMBA Rossii Publ., 2023. 24 p. (In Russ.).
17. *Proizvodnyye Urovni Vmeshatel'stva v Sluchaye Avarii na Atomnoy Stantsii* = Derived Levels of Intervention in Case of an Accident at a Nuclear Power Plant. Methodological Instructions. Moscow, FMBA Rossii Publ., 2008.
18. Kuryndin A.V., Shapovalov A.S., Ivanov Ye.A., Kut'kov V.A. Conceptual Foundations for Making Decisions on Measures to Protect the Population in the Event of a Radiation Accident: a Paradigm Shift. *Yadernaya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Nuclear and Radiation Safety. 2024;4;114:5-22 (In Russ.).
19. Kut'kov V.A. Quantities in Radiation Protection and Safety. ANRI. 2007;3;50:2-25 (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 20.12.2024. **Принята к публикации:** 25.01.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 20.12.2024. **Accepted for publication:** 25.01.2025.