

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПОРАЖЕННЫХ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ В ОБЪЕМЕ МЕРОПРИЯТИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ БРИГАДЫ

М.И.Грачев¹, Ю.А.Саленко¹, И.А.Галстян¹, Г.П.Фролов¹, А.Г.Цовьянов¹, В.Н.Яценко¹, В.В.Барчуков¹, А.В.Коктев¹

¹ ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России,
Москва, Россия

Резюме. Цель исследования – обосновать порядок проведения предварительной (оперативной) оценки доз аварийного облучения пораженных при радиационной аварии (РА) для решения первоочередных задач, стоящих перед специализированной радиологической бригадой (СРБ) ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России).

Материалы и методы исследования. Материалы исследования – опыт работы специализированной радиологической бригады по предварительной оценке доз аварийного облучения пораженных при РА. Методы исследования – современная методология приборных, расчетных и клинико-лабораторных методов оценки доз внешнего и внутреннего облучения пораженных.

Результаты исследования и их анализ. Представлена двухуровневая оценка значений доз – уровни действий (УД-1 и УД-2) для проведения лечебно-эвакуационных мероприятий. Отмечено, что в некоторых ситуациях, связанных с высокими уровнями неконтролируемого равномерного облучения персонала, клинические проявления и гематологические показатели позволяют уверенно оценить величину дозы для последующей стратегии лечения. На основе опыта лечения больных в клинике ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России систематизированы проявления первичной реакции и динамика гематологических показателей в течение первой недели после облучения. Дозиметрические измерения и лабораторные исследования сгруппированы по очередности и срокам их выполнения. Сделаны выводы, что результаты оценки доз облучения в объеме мероприятий, проводимых СРБ, являются предварительными и должны использоваться, главным образом, для принятия решений о срочности (очередности) направления пораженных в специализированный стационар для дальнейшего обследования и лечения.

Ключевые слова: медицинское обеспечение, облучение, предварительной оценка дозы, пораженные, радиационные аварии, специализированная радиологическая бригада, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России

Конфликт интересов. Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов

Для цитирования: Грачев М.И., Саленко Ю.А., Галстян И.А., Фролов Г.П., Цовьянов А.Г., Яценко В.Н., Барчуков В.В., Коктев А.В. Предварительная оценка доз облучения пораженных при радиационной аварии в объеме мероприятий специализированной радиологической бригады // Медицина катастроф. 2025. №1. С. 12-18. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2025-1-12-18>

PRELIMINARY DOSES ASSESSMENT TO VICTIMS DUE TO A RADIATION ACCIDENT IN THE SCOPE OF THE ACTIVITIES OF A SPECIALIZED RADIOLOGICAL TEAM

M.I.Grachev¹, Yu.A.Salenko¹, I.A.Galstyan¹, G.P.Frolov¹, A.G.Tsovyanyan¹, V.N.Yatsenko¹, V.V. Barchukov¹, A.V.Koktev¹

¹ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russian Federation

Summary. The aim of the study is to substantiate the procedure for conducting a preliminary (operational) assessment of emergency doses of radiation exposure to those affected by a radiation accident (EA) to address the priority tasks facing the specialized radiological team (SRT) of the Federal State Budgetary Institution "SRC - Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan" of the Federal Medical and Biological Agency of Russia (FSBI SRC FMBC named after A.I. Burnazyan FMBA of Russia).

Materials and methods of the study. The study materials are the experience of the specialized radiological team in the preliminary assessment of emergency doses of radiation exposure to those affected by EA. The research methods are a modern methodology of instrumental, calculation and clinical-laboratory methods for assessing external and internal radiation doses of those affected.

Research results and their analysis. A two-level assessment of dose values is presented – action levels (UD-1 and UD-2) for carrying out medical evacuation measures. It is noted that in some situations associated with high levels of uncontrolled uniform irradiation of personnel, clinical manifestations and hematological parameters allow confidently assessing the dose for the subsequent treatment strategy. Based on the experience of treating patients in the clinic of the Federal State Budgetary Institution of the Russian Federation, the manifestations of the primary reaction and the dynamics of hematological parameters during the first week after

irradiation are systematized. Dosimetric measurements and laboratory studies are grouped by the order and timing of their implementation. It is concluded that the results of assessing radiation doses in the volume of activities carried out by the SRB are preliminary and should be used mainly to make decisions on the urgency (order) of sending the affected to a specialized hospital for further examination and treatment.

Keywords: affected, medical care, Federal State Budgetary Institution of the Russian Federation of FMBA of Russia, irradiation, preliminary dose assessment, radiation accidents, specialized radiological team

Keywords: dose assessment, medical and sanitary provision, radiation accident, radiation injury, specialized radiological team

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: Grachev M.I., Salenko Yu.A., Galstyan I.A., Frolov G.P., Tsoyvanov A.G., Yatsenko V.N., Barchukov V.V., Koktev A.V. Preliminary Doses Assessment to Victims Due to a Radiation Accident in the Scope of the Activities of a Specialized Radiological Team. Meditsina Katastrof = Disaster Medicine. 2025;1:12-18 (In Russ.). <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2025-1-12-18>

Контактная информация:

Грачев Михаил Иванович – канд. мед. наук; зав. лабораторией, ведущий научный сотр. ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России
Адрес: Россия, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23
Тел.: +7 (499) 190-94-45
E-mail: mig_4911@gmail.com

Contact information:

Mikhail I. Grachev – Cand. Sc. (Med.); Head of Laboratory, Leading Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency
Address: 23, Marshala Novikova str., Moscow, 123098, Russia
Phone: +7 (499) 190-94-45
E-mail: mig_4911@gmail.com

Введение

Специализированная радиологическая бригада (СРБ) ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России (далее – ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России) предназначена для усиления территориальных медицинских организаций и центров гигиены и эпидемиологии ФМБА России и, в частности, их участия в аварийном медицинском реагировании и оказании медицинской помощи пораженным на месте (в районе) радиационной аварии (РА). Важной задачей, стоящей перед СРБ, является также квалифицированная оценка условий и доз облучения пораженных.

В дополнение к традиционным методам физической дозиметрии специализированная радиологическая бригада осуществляет предварительную оценку дозы внешнего и внутреннего облучения пораженных по ранним клиническим проявлениям радиационного воздействия и результатам лабораторных исследований крови. При обосновании объема дозиметрических исследований и порядка их проведения внимание должно быть акцентировано на двух обстоятельствах. Первое – это необходимость обеспечения персонала (специалистов) СРБ результатами индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) пораженных (по данным предприятия), включая значения аварийной дозы γ -излучения. Второе обстоятельство связано с тем, что окончательная верификация индивидуальных доз облучения возможна только по результатам углубленного клинико-дозиметрического обследования пораженных в специализированной клинике и проведения комплексного расследования радиационной аварии.

Цель исследования – обосновать порядок проведения предварительной (оперативной) оценки доз аварийного облучения пораженных при РА для решения первоочередных задач, стоящих перед специализированной радиологической бригадой ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна» ФМБА России.

Материалы и методы исследования. Материалы исследования – опыт работы специализированной радиологической бригады ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бур-

назяна» ФМБА России по предварительной оценке доз аварийного облучения пораженных при радиационных авариях.

Методы исследования – современная методология приборных, расчетных и клинико-лабораторных методов оценки доз внешнего и внутреннего облучения пораженных.

Результаты исследования и их анализ.

Уровни действий

В догоспитальном периоде оказания медицинской помощи устанавливаются граничные значения индивидуальных доз облучения пораженных – уровни действий (УД). Рекомендуемые значения принимаются с учетом неопределенности полученных оценок и консервативного подхода к оценке риска аварийного облучения (табл. 1).

В Методических указаниях для классификации степени радиационного воздействия на персонал предприятий Госкорпорации «Росатом» устанавливаются четыре уровня действий (УД-1 – УД-4), начиная со значений предела дозы для персонала группы А (50 мЗв в год) в качестве критерия УД-1 [1]. Предлагаемый нами упрощенный двухуровневый подход в большей степени соответствует требованиям, предъявляемым при принятии оперативного решения о медицинском вмешательстве с учетом консервативного запаса в значении оцениваемой дозы облучения пораженных.

Уровень действий-1 – это эффективная доза или индивидуальный эквивалент дозы, численно соответствующие верхнему значению референтного уровня (100 мЗв), принимаемого в качестве потенциально опасного [3]. При этом необходима дальнейшая верификация дозы, в том числе для подготовки заключения о допуске к профессиональной деятельности пораженного (работника) и/или проведения медицинского обследования. При значениях эффективной дозы или индивидуального эквивалента дозы более УД-1, но менее УД-2 медицинское обследование может быть отсрочено на период до одного месяца.

Уровень действий-2 – это значение дозы, соответствующее порогу детерминированного эффекта при внешнем облучении или при поступлении радионуклидов внутрь организма. Наряду с результатами ИДК данный

Таблица 1 / Table No. 1

Значения УД-1 и УД-2 для принятия решения о направлении пораженных на медицинское обследование
Values of AL-1 and AL-2 for decision making on sending victims for medical examination

Дозиметрический критерий / Dosimetric criterion	УД-1	УД-2
Индивидуальная эффективная доза – оцениваемое значение	100 мЗв	1000 мЗв
Индивидуальный эквивалент дозы $H_p(10)$	100 мЗв	1000 мЗв
Кратность превышения Π_D для отдельного органа – оцениваемое значение	2,0	10,0
Кратность превышение $\Pi_{\Gamma D}$ – расчетное значение	2,5	50,0 ^{90}Sr – 10,0 ^{239}Pu – 2,0
ОБЭ взвешенная поглощенная доза в органе или ткани ¹	$AD_T < 0,1AD_T$	$AD_T < \frac{1}{2}AD_T$
Загрязнение РВ неповрежденной кожи, β -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$)	2000	20000
Загрязнение РВ раневой поверхности кожи, α -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$)	100	1000

Примечания. ОБЭ – относительная биологическая эффективность; РВ – радиоактивные вещества; ПД – предел дозы; ПГП – предел годового поступления.

¹ Указанные значения ОБЭ взвешенной дозы направлены на предотвращение получения высокой коллективной дозы (УД-1) и предотвращение серьезных детерминированных эффектов (УД-2). Пороговые значения дозиметрических величин, соответствующие 5%-ной вероятности возникновения серьезных детерминированных эффектов [2]:

Кратковременное внешнее облучение (<10 ч)

AD красный костный мозг: 1 Гр

AD ткани: 25 Гр на глубине 0,5 см

AD кожа: 10 Гр на площади 100 cm^2

Внутреннее облучение от кратковременного поступления ($\Delta = 30$ сут)

AD(Δ)красный костный мозг: 0,2 Гр для радионуклидов с $Z \geq 90$;

2 Гр для радионуклидов с $Z \leq 89$

AD(Δ) щитовидная железа: 2 Гр

AD(Δ) легкие: 30 Гр

AD(Δ) толстый кишечник: 20 Гр

уровень оценивается по выраженности первичной реакции (ПР) на облучение и динамике абсолютного количества лимфоцитов и нейтрофилов в периферической крови. При УД-2 медицинское обследование пораженных проводится в обязательном порядке в наиболее короткие сроки.

Порядок проведения исследований

Приоритетная задача СРБ – оказание первичной медико-санитарной помощи пораженным при предположении, что доза облучения значительно превышает установленные пределы или при прогнозе развития острых эффектов облучения. В табл. 2 приведены рекомендуемые виды дозиметрических измерений и лабораторных исследований, проводимых в целях предварительной оценки доз внешнего и внутреннего облучения пораженных. Представленные дозиметрические измерения и исследования сгруппированы по их очередности и срокам выполнения.

Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) γ -излучения на расстоянии 10 см от загрязненного участка кожи позволяет первоначально оценить поглощенную дозу в базальном слое эпидермиса или дерме кожи [4]. В случае загрязнения кожи растворами γ -, β -излучающих радионуклидов $\geq 10^6$ Бк/ см^2 (МАЭД γ -излучения больше 1,0 мЗв/ч) требуется проводить как можно скорее неотложную санитарную обработку по жизненным показаниям [5].

В случае раневого поступления наличие в ране α -излучающих радионуклидов ≥ 1000 α -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$) является основанием (показанием) для проведения специальных медицинских мероприятий по обработке раны и снижению возможности поступления радионуклидов в кровь.

Оценка средствами СРБ доз внутреннего облучения пораженных ограничена прямыми измерениями на сцинтилляционном гамма-спектрометре. На рис. 1 в качестве примера показаны аттестованные геометрии измерения на спектрометре «Прогресс-гамма (СИЧ)».

Энергетический диапазон регистрируемого γ -излучения находится в диапазоне 300–3000 кэВ. Минимально-дектируемая активность в геометрии: «Все тело» – 500 Бк по ^{137}Cs ; «Легкие» – 500 Бк по ^{60}Co ; «Щитовидная железа» – 35 Бк по ^{131}I . Для предварительной оценки внутреннего облучения γ -излучающими радионуклидами могут быть также использованы спектрометры МКС-АТ6101С и дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М, откалиброванные для заданных радионуклидов и условий измерения.

В табл. 3 представлен перечень и основные характеристики носимых дозиметрических приборов, входящих в состав оснащения СРБ, и оборудования передвижной лаборатории радиационного контроля (ПЛРК) ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России.

Дополнительно к результатам ИДК предварительная оценка нейтронной составляющей дозы может быть получена путем измерения уровня МАЭД γ -излучения продуктов активации (наведенной активности) в теле человека [6]. Через несколько минут после нейтронного облучения γ -излучение тела в результате наведенной активности в основном обусловливается нуклидами ^{24}Na , ^{38}Cl , ^{42}K . При этом МАЭД γ -излучения от тела пострадавшего определяется активностью ^{24}Na с погрешностью, не превышающей $\pm 25\%$.

Оценка наведенной активности может проводиться следующими методами:

- измерением мощности дозы фотонного излучения приборами радиационного контроля;

- измерением активности (удельной активности) во всем теле с использованием сцинтилляционного – с кристаллом Nal – или полупроводникового – с детектором из особо чистого германия – γ -спектрометра [7].

Рекомендуется следующий порядок определения дозы нейтронного излучения при возникновении самоподдерживающейся цепной реакции деления (СЦР):

- фиксируется время возникновения СЦР;

Таблица 2 / Table No. 2

Дозиметрические измерения и исследования в порядке очередности и по срокам выполнения
Dosimetric measurements and studies in order of priority and timing of their implementation

Результат измерения – оценки дозы / Measurement result – dose assessment	Метод/способ оценки (измерения) / Method of evaluation (measurement)	Сроки выполнения / Dates of execution
Уровень загрязнения радиоактивными веществами (РВ) кожных покровов, включая раневую поверхность. Оценка вероятности поступления радионуклидов внутрь организма в результате ингаляции. Предварительная оценка поступления РВ внутрь организма через рану	Измерение МАЭД γ -излучения на расстоянии 10 см от поверхности кожи. Измерение плотности потока α -, β -частиц вплотную к коже. Радиометрические измерения проб мазков из носа – качественный анализ. Измерение активности РВ в ране	Сразу после поступления пораженных на этап медицинской эвакуации – сортировочная площадка, специализированное приемное отделение медицинской организации и др. После измерений необходимо провести санитарную обработку пораженных
Поглощенная эквивалентная доза в результате внешнего γ -, n -облучения	Измерение МАЭД γ -излучения в результате наведенной активности ^{24}Na от торса пораженного в сочетании с γ -спектрометрическими измерениями	В первые 30–60 мин после облучения и проведения санитарной обработки
Эквивалентная эффективная доза в результате поступления внутрь организма γ -излучающих радионуклидов	Измерение всего тела переносным γ -спектрометром, откалиброванным для стандартной геометрии и основных дозоформирующих радионуклидов	После проведения санитарной обработки
Оценка поглощенной эквивалентной дозы облучения щитовидной железы (ЩЖ) в результате ингаляции изотопов йода	Измерение МАЭД γ -излучения в проекции ЩЖ	В течение 24 ч после ингаляции
Поглощенная эквивалентная доза в результате кратковременного относительно равномерного внешнего γ -облучения	Выраженность первичной реакции на облучение	Первые 6–8 ч после облучения
	Динамика абсолютного количества лимфоцитов при отсутствии комбинированных радиационных поражений (КРП)	Первые 18–24 ч после облучения
	Динамика абсолютного количества лимфоцитов при отсутствии КРП	На 3-и – 8-е сутки после облучения
	Динамика абсолютного количества лейкоцитов при отсутствии КРП	На 7-е – 9-е сутки после облучения
Специалисты СРБ: анализируют информацию о дозе облучения по данным службы радиационной безопасности предприятия (карточка эвакуации), уточняют место и время нахождения пораженных в зоне радиационной аварии, использование ими средств индивидуальной защиты (СИЗ), характер работы и др. Осуществляют сбор и маркировку образцов одежды и личных вещей пораженных для последующего анализа методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Организуют сбор, маркировку и хранение биологических проб (моча, кал) для последующего измерения и оценки ожидаемой дозы внутреннего облучения в биофизической лаборатории ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России		

- фиксируется время проведения измерений²;
- оценивается загрязненность тела пораженного радиоактивными веществами – в случае выявленного загрязнения проводится санитарная обработка пораженного. При невозможности проведения санитарной обработки используются блоки детектирования с экранами, исключающими влияние β -излучения на показания средства измерения;

- блок детектирования прикладывается вплотную к торсу пораженного, после чего снимаются максимальные показания прибора;
- поглощенная доза нейтронного излучения оценивается с использованием градиуровочных зависимостей, полученных для условий конкретного ядерно-опасного участка.

Оценка дозы по клиническим проявлениям и гематологическим показателям

Адекватная оценка неконтролируемого аварийного облучения в интервале доз, соответствующих УД-2 и превышающих критерии УД-2, может быть получена по результатам клинического наблюдения за состоянием пораженных и лабораторных исследований периферической крови.

² В связи с тем, что в активации крови определяющими нуклидами являются Na и Cl , через 10 мин обуславливающие 90% наведенной активности, рекомендуемое время проведения измерений – 10–25 мин после облучения

Выраженность первичной реакции (ПР) на облучение зависит от дозы и ее мощности. Предположение о дозе по ПР на облучение основано, в основном, на опыте клинических наблюдений в случае общего относительно равномерного облучения γ -излучением всего тела. Симптомы ПР должны быть подробно зафиксированы в медицинской документации с указанием времени их возникновения, кратности и динамики с целью предварительной оценки дозы. Наиболее тесно связанными с дозой облучения и тяжестью радиационного поражения являются время возникновения и интенсивность рвоты (табл. 4). При дозе внешнего равномерного облучения $\geq 10 \text{ Гр}$ первичная реакция возникает через несколько минут и нередко продолжается до двух суток.

При пролонгированном облучении время начала рвоты дает лишь ориентировочное представление об уровне поглощенной дозы и менее точное, чем при кратковременном облучении (табл. 5).

Показательными симптомами лучевого поражения являются ранние реакции на облучение сосудов слизистых оболочек рта и носоглотки (лучевой мукозит). Лучевой мукозит проявляется гиперемией и отеком слизистой рта (опалесцирует «жемчужным» цветом), на щеках появляются отпечатки зубов и белая полоска по линии их смыкания. При появлении гиперемии слизистой оболочки рта к концу первых суток принято считать, что доза облучения составляет более 6 Гр (острая лучевая болезнь – ОЛБ-IV). Часто наблюдается региональный лимфаденит.

Таблица 3 / Table No. 3

Характеристика носимых дозиметрических приборов и оборудования передвижной лаборатории радиационного контроля
Characteristic of portable dosimetric devices and equipment of mobile radiation monitoring laboratory

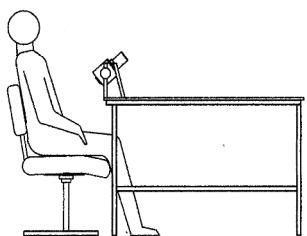
№ п/п	Наименование / Name	Назначение и характеристика / Purpose and characteristics
1	Дозиметр микропроцессорный ДКГ-РМ1203М (ДКГ-АТ2140)	Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) и дозы непрерывного γ -излучения. Диапазон измерения МАЭД γ -излучения: 0,1 мкЗв/ч – 10 мЗв/ч. Диапазон измерения амбиентного эквивалента дозы (АЭД) γ -излучения: 0,1 мкЗв – 1,99 Зв
2	Дозиметр индивидуальный ДКС-АТ3509 В	Контроль индивидуальных доз облучения от рентгеновского и γ -излучения. Диапазон измерения индивидуального эквивалента дозы: 1 мкЗв – 10 Зв; мощности индивидуального эквивалента дозы: 0,1 мкЗв/ч – 1 Зв/ч
3	Дозиметр рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123	Дозиметрия непрерывного, кратковременного и импульсного рентгеновского и γ -излучения. Диапазон измерения МАЭД непрерывного и кратковременного излучения: 5 мкЗв/ч – 10 Зв/ч; диапазон измерения АЭД: 0,1 нЗв – 100 Зв; диапазон энергий для непрерывного и кратковременного излучений: 5 кэВ – 3 МэВ, для импульсного излучения: 15 кэВ – 10 МэВ
4	Дозиметр-радиометр ДКС-96АБ	Измерение АЭД и МАЭД непрерывного и импульсного рентгеновского и γ -излучений, АЭД и МАЭД нейтронного излучения, мощности экспозиционной дозы γ -излучения, плотности потока α -излучения и β -излучения
5	Дозиметр гамма-излучения ДКГ-ОЗД «Грач»	Измерение АЭД и МАЭД γ -излучения. Диапазон измерения МАЭД: 0,1 мкЗв/ч – 1,0 мЗв/ч; диапазон измерения АЭД: 1,0 мкЗв – 100 Зв; диапазон энергий γ -излучения: 0,05–3,0 МэВ
6	Спектрометр МКС-АТ6101С	Спектрометр работает в режиме постоянного радиационного сканирования: непрерывный поиск, обнаружение, идентификация источников γ -излучения; поиск источников нейтронного излучения. При обнаружении источника радиоактивного излучения прибор сигнализирует об этом и идентифицирует его радиоизотопный состав. Идентифицированные радионуклиды отображаются на экране смартфона и сообщаются оператору через беспроводную гарнитуру. Результаты сканирования непрерывно фиксируются в памяти для последующей обработки и анализа на персональном компьютере и могут быть нанесены на карту местности с помощью прикладного программного обеспечения
7	Дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М – входит в состав оборудования ПЛРК	Измерения АЭД и МАЭД рентгеновского, γ - и нейтронного излучения; кермы и мощности кермы рентгеновского и γ -излучения; направленного эквивалента дозы и мощности направленного эквивалента дозы рентгеновского и γ -излучения; плотности потока и флюенса α -частиц и β -частиц с загрязненных поверхностей; плотности потока и флюенса нейтронов с известным энергетическим распределением; поверхностной активности и количества распадов радионуклидов ^{239}Pu и $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$; оперативного поиска источников ионизирующих излучений и радиоактивных материалов
8	Дозиметр-радиометр МКС-17Д «Зяблик» – входит в состав оборудования ПЛРК	Измерение МАЭД и АЭД фотонного и нейтронного излучений; плотности потока и флюенса α - и β -излучения; поверхностной активности радионуклидов ^{239}Pu и $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$. Особенностью прибора являются: высокочувствительные сцинтилляционные детекторы с большой площадью, связь с ПЭВМ по радиоканалу, встроенный модуль ГЛОНАСС / GPS, позволяющий проводить съемку местности с привязкой к географическим координатам
9	Установка дозиметрическая "ГАММА-СЕНСОР" – входит в состав оборудования ПЛРК	Непрерывный радиационный мониторинг путем измерения МАЭД γ -излучения. Диапазон энергий: 0,05 – 3 МэВ. Диапазон измерений МАЭД γ -излучения: 0,1 мкЗв/ч – 10 Зв/ч. Особенностью установки являются: обработка накопленных спектров, идентификация радионуклидного состава источника γ -излучения, сохранение результатов в базе данных с привязкой к географическим координатам
10	Портативный расходомер-пробоотборник газоаэрозольных смесей ПВП-06 – входит в состав оборудования ПЛРК	Измерение и контроль скорости прокачки и суммарного объема газоаэрозольной смеси. Возможность измерения ^{131}I без применения угольных адсорбиров – с помощью фильтров АФА-СИ-20
11	Индикатор-сигнализатор ИСП-РМ1710 ГНА	Поиск (обнаружение) радиоактивных и ядерных материалов путем анализа скорости счета импульсов, поступающих с выходов детекторов при регистрации γ - и нейтронного излучений. Диапазон энергий регистрируемого γ -излучения: 0,06–3 МэВ, нейтронного излучения – от тепловых до 14 МэВ

Таблица 4 / Table No. 4

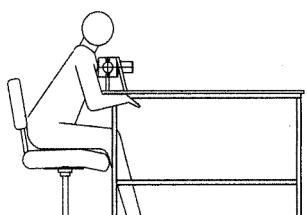
Время возникновения и интенсивность рвоты и соответствующие им диапазоны доз относительно равномерного облучения [8]

Time of occurrence and intensity of vomiting and corresponding dose ranges relative to uniform radiation exposure

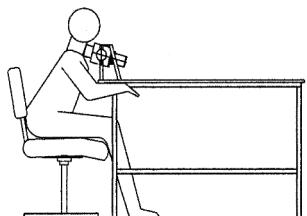
Интенсивность рвоты / The intensity of vomiting	Временной интервал между моментом облучения и появлением рвоты / The time of the appearance of vomiting from the moment of irradiation		Доза облучения, Гр / Dose of irradiation, gr
	γ - облучение малой мощности – <5 сГр/мин / γ - irradiation of low power <5 SGR/min	γ - облучение большой мощности >5 сГр/мин / γ - irradiation of high power > 5 SGR/min	
Однократная / One -time	4–6 ч	2–4 ч	1,0–2,0
Повторная / Repeated	2–4 ч	1–2 ч	2,0–4,0
Многократная / Multiple	1–5 ч	30 мин – 1 ч	4,0–6,0
Очень частая, неукротимая / Very frequent, indomitable	30–40 мин	10–20 мин	> 6



Геометрия «Все тело»



Геометрия «Легкие»



Геометрия
«Щитовидная железа»

Рис. 1. Геометрия измерений на счётчике излучения человека (СИЧ)

Fig.1. Geometry of measurements on a gamma spectrometer

Приведенные ниже гематологические показатели могут быть использованы для предварительной оценки величины дозы только для условий относительно равномерного облучения тела γ -излучением при отсутствии КРП.

В ранние сроки в верификации лучевого поражения большое значение имеет абсолютная лимфопения крови. Показатель количества лимфоцитов в периферической крови наиболее информативен на вторые – трети сутки после аварийного облучения. Информативность лимфопении как критерия степени тяжести лучевого поражения сохраняется в течение 6–8 сут после радиационного воздействия (табл. 6).

Диагностическая значимость глубины абсолютной лимфопении для определения величины дозы облучения сохраняется в течение первых 8 сут после кратковременного радиационного воздействия. На 7-е – 9-е сутки после облучения важное диагностическое значение имеет абсолютное количество лейкоцитов в крови, хорошо коррелирующее с дозой (табл. 7).

Заключение

В рамках общей системы медицинского обеспечения ФМБА России базовым условием организации работы СРБ является ее тесное взаимодействие с территориальными органами и лечебными медицинскими организациями (ЛМО), обслуживающими радиационно опас-

Таблица 5 / Table No. 5

Прогностические оценки величины дозы, накопленной к моменту начала рвоты при пролонгированном облучении с постоянной мощностью

Prognostic estimates of the dose accumulated by the time of vomiting onset during prolonged radiation exposure with a constant dose rate

Время начала рвоты, ч / The start time of vomiting, h	Доза, Гр / Dose, gr	Интервал величины дозы, Гр / Dose values interval, gr
0,5	6,0	4,0–12,0
1,0	4,5	3,0–7,0
2,0	3,0	2,0–6,0
4,0	1,8	1,0–2,5

Таблица 6 / Table No. 6

Абсолютное количество лимфоцитов через 24 ч после относительно равномерного кратковременного облучения большой мощности [8]

Absolute lymphocyte count 24 h after relatively uniform short-term high dose rate exposure

Доза облучения, Гр / Dose of irradiation, gr	Количество лимфоцитов, $\times 10^9/\text{л}$ / The number of leukocytes, $\times 10^9/\text{l}$
< 0,7	> 1,00
1–2	1,00–0,75
2–4	0,75–0,50
4–6	0,50–0,25
> 6	< 0,25

Таблица 7 / Table No. 7

Содержание лейкоцитов в крови на 7-е – 9-е сутки после облучения [8]

Leukocyte content in the blood on the 7–9th day after radiation exposure

Доза облучения, Гр / Dose of irradiation, gr	Абсолютное количество лейкоцитов / Absolute amount of leukocytes, $\times 10^9/\text{l}$
1–2	3,0–4,0
2–4	2,0–3,0
4–6	1,0–2,0
> 6	< 1,0

ные предприятия (объекты). Данное обстоятельство предполагает получение от службы радиационной безопасности предприятия необходимой дозиметрической информации о пораженных и ее дальнейшее уточнение в ходе проведения аварийных и спасательных работ.

Перечень средств измерений, лабораторного оборудования и методическое обеспечение СРБ в части возможности оценки доз должны быть оптимизированы с учетом задач по медицинскому обеспечению, решаемых в догоспитальном и раннем госпитальном (ЛМО ФМБА России) периодах оказания медицинской помощи пораженным.

Принципиальное значение для оценки доз имеют результаты ИДК и следующие характеристики условий облучения пораженных:

- МАЭД γ -излучения и уровни радиоактивного загрязнения в зоне РА;
- объемная активность радиоактивных аэрозолей в воздухе;

- время пребывания персонала (пораженных) в зоне радиационной аварии, маршруты их передвижения, данные об использовании средств индивидуальной защиты (СИЗ);

- данные радиометрических исследований (измерений) СИЗ, спецодежды и открытых участков кожи;

- данные обследования пораженных на СИЧ предприятия (при наличии).

В случае радиационной аварии с возникновением критичности или СЦР измерения, сбор и анализ информации, необходимой для оценки дозы γ -нейтронного излучения и последующего моделирования, проводятся в соответствии с технической документацией и путем использования специальных расчетных программ. Требования к методам оценки дозы при аварийном облучении определяются отдельными методическими документами, методиками выполнения измерений и методиками выполнения расчетов.

Результаты оценки доз облучения в объеме мероприятий специализированной радиологической бригады являются предварительными и должны использоваться, главным образом, для принятия решений о срочности (очередности) направления пораженных в специализированный стационар для дальнейшего обследования и лечения. В то же время, уже в догоспитальном периоде оказания медицинской помощи для каждой процедуры оценки дозы облучения целесообразно определить

сроки, в которые могут быть получены уточненные результаты, влияющие на дальнейшую стратегию лечебно-эвакуационного обеспечения. Ниже представлены усредненные данные о времени выполнения отдельных методик и процедур:

- при наружном загрязнении РВ для оценки дозы на кожу – в течение 1–2 ч; в случае резорбции РВ через раневую поверхность для оценки относительной биологической эффективности (ОБЭ) взвешенной дозы (ADT (Δ)) – в течение 3–5 сут;

- при внешнем равномерном γ -облучении всего тела по результатам ИДК – в течение 1–2 ч после облучения; по результатам расчетных методов с учетом пространственно-временных характеристик облучения – в течение 2–3 сут;

- при поступлении РВ внутрь организма по результатам измерения на СИЧ – в течение 1–2 сут; с учетом динамики выведения РВ из организма и проведения радиохимических исследований биопроб – в течение 5–7 сут;

- уточнение характеристик нейтронного излучения, включая результаты моделирования условий облучения и фантомные исследования – к 3–7-м суткам и позднее.

До момента определения дозы медицинское вмешательство, в основном, сводится к симптоматической терапии. При получении уточненных оценок дозы могут применяться различные, в том числе инвазивные, методы лечения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Vol. 37. No. 2-4, 2007. 339 p.
2. МУ 2.6.5.040-2016. Определение дозы незапланированного или аварийного облучения персонала предприятий Госкорпорации «Росатом». Методические указания. М.: ФМБА России, 2016. 34 с.
3. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Requirements No. GSR Part 7. Vienna: IAEA, 2015. 102 р.
4. 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.65. №3. С.20-26.
5. Фролов Г.П., Саленко Ю.А., Грачев М.И., Галстян И.А., Клочков В.Н. Проведение санитарной обработки на этапах оказания медицинской помощи пострадавшим в радиационной аварии // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т.66. №3. С.19-28.
6. МУ 2.6.5.053-2017. Организация аварийного радиационного контроля внешнего облучения персонала при проведении работ на ядерно-опасных участках предприятий Госкорпорации «Росатом». Общие требования: Методические указания. М.: ФМБА России, 2017. 54 с.
7. МУ 2.6.5.036-2013. Оперативная оценка дозы нейтронного излучения при возникновении самопроизвольной цепной реакции на ядерно-опасных участках предприятий ядерно-оружейного комплекса. М.: ФМБА России, 2013.
8. Радиационная медицина: Руководство для врачей-исследователей, организаторов здравоохранения и специалистов по радиационной безопасности / Под общей ред. Л.А.Ильина. М.: ИздАТ, 2001. Т.2. 432 с.
1. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. 2007;37:2-4:339.
2. Определение Дозы Незапланированного или Аварийного Облучения Персонала Предприятий Госкорпорации «Росатом» = Determination of the Dose of Unplanned or Emergency Irradiation of Personnel of Enterprises of the State Corporation Rosatom. Methodological Guidelines. MU 2.6.5.040-2016. Moscow, Federal'noye Mediko-Biologicheskoye Agentstvo Rossii Publ., 2016. 34 p. (In Russ.).
3. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Requirements No. GSR Part 7. Vienna: IAEA, 2015. 102 p.
4. Grachev M.I., Salenko Yu.A., Abramov Yu.V., Frolov G.P., Klochkov V.N., Kukhta B.A. Operational Values of Radioactive Skin Contamination in the Case of Radiological Accident. Meditsinskaya Radiobiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiobiology and Radiation Safety. 2020;65:3:20-26. doi:10.12737/1024-6177-2020-65-3-20-26 (In Russ.).
5. Frolov G.P., Salenko Yu.A., Grachev M.I., Galstyan I.A., Klochkov V.N. Decontamination of Victims in the Event of a Radiation Accident at the Stages of Provision Medical Care. Meditsinskaya Radiobiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiobiology and Radiation Safety. 2021;66:3:19-28. doi:10.12737/1024-6177-2021-66-3-19-28 (In Russ.).
6. Organizatsiya Avariynogo Radiatsionnogo Kontrolya Vneshnego Oblucheniya Personal'a pri Provedenii Rabot na Yaderno-Opasnykh Uchastkakh Predpriyatiy Goskorporatsii «Rosatom». Obshchiye Trebovaniya = Organization of Emergency Radiation Monitoring of External Irradiation of Personnel during Work at Nuclear-Hazardous Sites of Enterprises of the State Corporation Rosatom. General Requirements. Methodological Guidelines. MU 2.6.5.053-2017. Moscow, Federal'noye Mediko-Biologicheskoye Agentstvo Rossii Publ., 2017. 54 p. (In Russ.).
7. Operativnaya Otsenka Dozy Neytronnogo Izlucheniya pri Vozniknovenii Samopropoizvol'noy Tsepnoy Reaktsii na Yaderno-Opasnykh Uchastkakh Predpriyatiy Yaderno-Oruzheynogo Kompleksa = Operational Assessment of the Neutron Radiation Dose in the Event of a Spontaneous Chain Reaction at Nuclear-Hazardous Sites of Nuclear Weapons Complex Enterprises. Methodological Guidelines. MU 2.6.5.036-2013. Moscow, Federal'noye Mediko-Biologicheskoye Agentstvo Rossii Publ., 2013 (In Russ.).
8. Radiatsionnaya Meditsina = Radiation Medicine. A Guide for Medical Researchers, Healthcare Organizers, and Radiation Safety Specialists. Vol.2. Ed. L.A.Ill'in. Moscow, IzdAT Publ., 2001, V.2. 432 p. (In Russ.).

REFERENCES

Материал поступил в редакцию 14.01.25; статья принята после рецензирования 20.01.25; статья принята к публикации 13.03.25
The material was received 14.01.25; the article after peer review procedure 20.01.25; the Editorial Board accepted the article for publication 13.03.25