

Послеаварийный контроль внутреннего облучения при радиационных авариях на кораблях и судах с ядерными энергетическими установками: задачи и аппаратурно-методическое обеспечение

В.Б. Фирсанов¹, В.А. Тарита¹, Д.В. Арефьева², Г.Я. Брук³, В.А. Яковлев³

¹Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

²Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия

При чрезвычайной ситуации радиационного характера на кораблях и судах с ядерными энергетическими установками может произойти выброс радиоактивных веществ в окружающую среду и их поступление в организм человека. Радиоактивное загрязнение характеризуется сложным и быстро распадающимся во времени составом радионуклидов – продуктами ядерного деления и наведенной активности, что обосновывает необходимость оперативного послеаварийного контроля внутреннего облучения. В статье приводится классификация радиационных аварий применительно к кораблям. В качестве примера рассматривается одна из наиболее тяжелых аварий, которая произошла при перегрузке ядерного топлива на атомной подводной лодке в бухте Чажма в 1985 г. Описываются способы определения инкорпорированной активности. Показано, что наиболее точным является метод прямого измерения содержания радионуклидов в организме или органе с применением спектрометров излучений человека. Предлагается аппаратурно-методическое обеспечение и схема основных мероприятий при осуществлении послеаварийного индивидуального контроля внутреннего облучения персонала судов с ядерными энергетическими установками.

Ключевые слова: радиационная авария, ядерная энергетическая установка, внутреннее облучение, радионуклид, спектрометр излучений человека.

Введение

За время эксплуатации кораблей Военно-морского флота (ВМФ) с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ) произошло более 350 аварийных ситуаций, сопровождавшихся ухудшением радиационной обстановки. При этом повышенному облучению подверглись 461 человек, у 193 из них развились острые радиационные поражения, завершившиеся у 12 пораженных летальным исходом [1].

Аварии на кораблях и судах с ЯЭУ могут привести к радиоактивному загрязнению не только непосредственно корабельных помещений, но и прилегающих к ним территорий. Радиоактивное загрязнение окружающей среды характеризуется сложным и быстро меняющимся во времени составом радионуклидов – продуктов ядерного деления и наведенной активности.

В зависимости от характера и масштабов повреждений и разрушений аварии подразделяют на проектные, проектные с наибольшими последствиями (максимально проектные) и запроектные (гипотетические) [ГОСТ Р 22.0.05-94]. В данной работе рассматриваются максимально проектные и запроектные аварии как оказывающие значимое воздействие на персонал, население и окружающую среду.

Максимальная проектная авария (МПА) – проектная авария с наиболее тяжелым исходным событием, устанавливаемым для каждого типа реактора [ГОСТ 27445-87].

К запроектным относятся аварии, вызываемые не учитываемыми для проектных аварий исходными состояниями и сопровождающиеся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности и реализациями ошибочных решений персонала, при-

Фирсанов Владимир Борисович

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России

Адрес для переписки: 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2; E-mail: sich@arcerm.spb.ru

ведшими к тяжелым последствиям. Запроектные аварии могут привести к тяжелым радиационным чрезвычайным ситуациям на значительном удалении от места аварии. Снижение последствий запроектных аварий достигается управлением аварией и/или реализацией плана аварийных мероприятий по защите персонала и населения.

Вариация радионуклидных составов загрязнения воздушной среды при авариях на ЯЭУ крайне широка, и в силу этого алгоритмы оценки уровня суммарного поступления в организм продуктов ядерного деления (ПЯД) и активации строятся по-разному в зависимости от наличия априорной информации о характере аварии. Рассматриваются следующие наиболее возможные аварийные ситуации на кораблях и судах с ЯЭУ [2]:

- малая, но длительная течь теплоносителя первого контура – авария типа А1;
- крупная кратковременная протечка теплоносителя при длительной (до 2 лет) кампании работы ЯЭУ – авария типа А2;
- самопроизвольная цепная реакция (СЦР) при загрузке свежих тепловыделяющих энергетических сборок (ТВЭС) – авария типа А3;
- СЦР при выгрузке ТВЭС при длительной кампании и времени выдержки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) порядка 10 суток – авария типа А4.

Анализ последствий аварий, возможных на предприятиях атомного судостроения и судоремонта, показал, что одной из наиболее вероятных и тяжелых по своим радиологическим последствиям максимальной запроектной аварией является СЦР при выгрузке ОЯТ [3]. Аварии такого типа неоднократно случались при перегрузке ядерного топлива.

Наиболее тяжелая из аварий этого типа произошла в бухте Чахма, где 10 августа 1985 г. на АПЛ К-431 проекта 675 производилась перезарядка активных зон реакторов [4]. Работы проводились с нарушениями требований ядерной безопасности и технологии. Произошла неуправляемая СЦР деления ядер урана в реакторе левого борта, приведшая к тепловому взрыву.

В центре взрыва уровень радиации составлял 90 000 рентген в час, что привело к мгновенной смерти находившихся там лиц. Погибли 8 офицеров и 2 матроса. На подводной лодке начался пожар, который сопровождался мощными выбросами радиоактивной пыли и пара. В атмосферу были выброшены радионуклиды ядерного топлива с активностью около 5 млн Ки. Была загрязнена акватория бухты Чахма и Уссурийского залива на протяжении 30 км от места аварии. В ходе аварии и при ликвидации ее последствий пострадали 290 (по другим данным — 260) человек. Кроме погибших от облучения в момент аварии, у 10 человек зафиксирована острая лучевая болезнь, у 39 – лучевая реакция. Так как предприятие является режимным, в основном пострадали военнослужащие, которые одними из первых приступили к ликвидации последствий катастрофы. По классификации Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) ее можно отнести к аварии 5 уровня, т.е. это авария, опасная для окружающей среды [5].

При чрезвычайных ситуациях радиационного характера на действующих или недавно остановленных ядерных реакторах ведущим дозообразующим фактором является

внешнее облучение. В то же время при некоторых типах радиационных аварий вклад в суммарную эффективную дозу облучения за счет инкорпорированных радионуклидов может достигать 20–25% [6].

Определение инкорпорированной активности в теле человека, как правило, проводится одним из трех способов. Первый – измерение концентрации радионуклида в воздухе, воде и продуктах питания с последующим расчетом поступления, отложения и удержания в организме. Невозможность точно учесть индивидуальное потребление (например, объем воздуха, прошедшего через легкие), реальные характеристики поступающего радиоактивного вещества (дисперсность аэрозолей, их физико-химические свойства, характер загрязнений и т.д.), индивидуальные параметры усвоения (коэффициент удержания в легких, переход в желудочно-кишечный тракт, в кровь и т.п.) – все эти особенности делают этот способ весьма приблизительным. Второй широко используемый метод определения активности радионуклидов в организме – измерение содержания радиоактивных веществ в биопробах (в крови, в волосах, в зубах и т.д.) и особенно в выделениях человека (кал, моча) с последующим пересчетом на основании принятых моделей метаболизма. Однако применение усредненных параметров метаболизма при определении содержания радионуклидов в теле или критическом органе в этом случае также может внести значительную погрешность из-за их индивидуальной варибельности.

Наиболее точным является метод прямого измерения содержания радионуклидов в организме или органе с применением спектрометров излучений человека (СИЧ) путем регистрации их проникающего фотонного излучения (гамма-излучения, рентгеновского, тормозного), исходящего из тела человека. СИЧ, в наиболее распространенной комплектации оснащенные сцинтилляционными детекторами, применяются для определения инкорпорированной активности во всем теле или отдельном органе с последующей оценкой дозы внутреннего облучения.

При возможных максимально проектных и запроектных авариях на кораблях и судах с ЯЭУ состав инкорпорированных радионуклидов может быть достаточно сложным с большой долей короткоживущих ПЯД. Для решения одной из основных задач послеаварийного контроля – прогноза ближайших эффектов поражения – необходима экспрессная информация о различных действовавших радиационных факторах, в том числе и внутреннего облучения. Следует отметить, что если обследование пострадавших при аварии не будет проведено в ближайшие часы после инкорпорации, то значительная часть информации о внутреннем облучении будет потеряна из-за распада короткоживущих радионуклидов. Ввиду этого, во избежание потери данных о вкладе в дозу за счет внутреннего облучения, обследование потенциально пострадавших должно быть выполнено в возможно короткие сроки – до 3–12 ч после аварии.

Цель исследования – разработка схемы и аппаратно-методического обеспечения послеаварийного индивидуального контроля внутреннего облучения персонала судов с ЯЭУ.

Материалы и методы

Для осуществления послеаварийного контроля предлагается использовать комплекс контроля внутреннего облучения, состоящий из:

1. Малогабаритного переносного СИЧ типа РИГ-07Т (рис. 1), предназначенного для измерения в спектрометрическом режиме потока излучения от всего тела, легких и щитовидной железы, размещенного непосредственно на корабле или ином радиационно опасном объекте. РИГ-07Т состоит из одного сцинтилляционного блока детектирования NaI(Tl) размером $\varnothing 25 \times 25$ мм, помещенного в защитный экран с поворотным эллиптическим коллиматором, который поворачивается на 90° и фиксируется в двух положениях, когда большая ось входного окна находится горизонтально (для геометрии измерения «щитовидная железа») или вертикально (для геометрий измерения «все тело» и «легкие»), и устройства накопления и обработки информации [7].

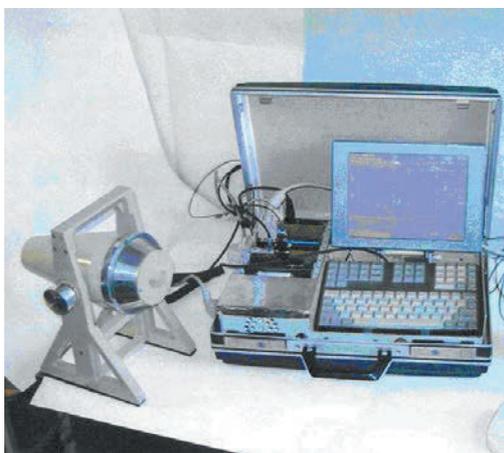


Рис. 1. Радиометр активности гамма-излучающих радионуклидов РИГ-07Т

[Fig. 1. Radiometer of the activity of the gamma-emitting radionuclides RIG-07T]

2. Многофункционального высокочувствительного СИЧ типа СИЧ-Э (рис. 2), предназначенного для уточнения состава, активности и распределения по органам инкорпорированных радионуклидов [8], которыми могут быть оснащены крупные специализированные клиники и медицинские центры, предназначенные для осуществления медицинского реагирования на радиологические аварийные ситуации (например, ФГБУ ГНЦ-ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (г. Москва), ФГБУ ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России (г. Санкт-Петербург) и др.). СИЧ-Э, разработанный и введенный в 2008 г. в эксплуатацию в клинике № 1 ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России, состоит из:

- защитной камеры массой 95 тонн;
- 4 блоков детектирования (БД) на основе монокристаллов NaI(Tl) размером $\varnothing 160 \times 160$ мм для измерения гамма-излучения от всего тела человека в режиме линейного продольного сканирования;
- 4 БД на основе монокристаллов NaI(Tl) размером $\varnothing 150 \times 3$ мм для измерения в режиме линейного продольного сканирования содержания радионуклида ^{90}Sr в костной ткани скелета по спектру тормозного излучения;



Рис. 2. Система детектирования СИЧ-Э
[Fig. 2. Detection system SICH-E]

- 4 коллимированных БД на основе монокристаллов NaI(Tl) размером $\varnothing 63 \times 63$ мм для измерения гамма-излучающих радионуклидов в различных органах;
- одного коаксиального полупроводникового детектора (ППД), предназначенного для расшифровки измеренных гамма-спектров от человека;
- 4 планарных ППД для измерения трансураниевых элементов в легких по спектру рентгеновского излучения этих радионуклидов.

Учитывая сложный состав инкорпорированных радионуклидов, традиционные методы оценки дозы внутреннего облучения персонала и населения, основанные на результатах измерения содержания радионуклидов в теле человека сцинтилляционными детекторами и последующем расчете уровней суммарного поступления практически применить невозможно, так как зарегистрированные от тела человека либо отдельных органов спектры гамма-излучения трудно расшифровать без применения дорогостоящего оборудования на основе ППД.

Располагая информацией об уровне суммарного поступления ПЯД в организм, можно при послеаварийном обследовании оперативно оценить возможный вклад внутреннего облучения в дозу сочетанного (внешнего и внутреннего) облучения [2].

Результаты и обсуждение

Для радиометра РИГ-07Т экспериментально установлено, что эффективность регистрации гамма-излучения от всего тела в геометрии измерения «стоя» на расстоянии 2 м от детектора в энергетическом интервале 100-3000 кэВ практически (в пределах не хуже 20–30%) не зависит от энергии гамма-излучения и составляет 7,5 имп/с·Мбк при 100% квантовом выходе [9]. Это позволяет при послеаварийном контроле непосредственно сопоставить измеряемую скорость счета с числом гамма-квантов, излучаемых телом человека, тем самым решая первую задачу послеаварийного контроля – сортировку пострадавших по уровню содержания ПЯД на лиц, требующих дальнейшего обследования (с целью уточнения уровней поступления и поглощенных доз излучения) и, возможно,

лечения, и лиц, находившихся в зоне аварии, но не подвергшихся значимому внутреннему облучению [9].

Следующей задачей послеаварийного обследования является оперативная оценка уровня суммарного поступления в организм ПЯД, а также определение поглощенных доз излучения в легких и щитовидной железе. Экспресс-оценка уровня суммарного поступления ПЯД проводится по формуле:

$$A, \text{ МБк} = (N_{\text{чел}} - N_{\text{ф}}) \cdot K_{\text{гр}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{гр}}$ – градуировочный коэффициент для различных сроков обследования (табл. 1), МБк·с/имп;

$N_{\text{чел}}$, $N_{\text{ф}}$ – скорости счета от человека и фона соответственно, зарегистрированные в энергетическом интервале 100–3000 кэВ, имп/с.

Неопределенность в оценке величины суммарного поступления ПЯД при обследовании в сроки от 2 до 24 ч после аварии составляет 50%, если аварийная ситуация

может быть отнесена к одному из вариантов типов аварии А1–А4. При неизвестном типе аварии неопределенность не превышает двух раз [9].

Следующим этапом послеаварийного обследования на СИЧ является оперативная оценка доз облучения легких и щитовидной железы с применением радиометра РИГ-07Т.

Экспресс-оценка поглощенной дозы облучения легких

При характере загрязнения воздушной среды рабочего помещения, где находились пострадавшие, соответствующего аварии типа А1–А4, оценка поглощенной дозы в легких производится по следующей формуле:

$$D_{\text{легк}}, \text{ мГр} = (N_{\text{чел}} - N_{\text{ф}}) \cdot K_{\text{легк}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{легк}}$ – градуировочный коэффициент для различных сроков обследования, мГр·с/имп.

Расчетные значения коэффициентов градуировки представлены в таблице 2.

Таблица 1

Градуировочные коэффициенты для экспресс-оценки уровня суммарного поступления ПЯД по результатам СИЧ-измерения при наличии априорной информации о характере аварии [9]

[Table 1

Calibration coefficients for the express assessment of the level of the total incorporation of the products of the nuclear fission based on the results of the SICh measurement based on the priory information of the type of the accident]

Время обследования, ч [Time of the assessment, hour]	Значения градуировочных коэффициентов $K_{\text{гр}}$, МБк·с/имп, в зависимости от типа аварии [Values of the calibration coefficients, Kgr, MBk*s/counts, based on the type of an accident]			
	A1	A2	A3	A4
2	10	0,4	9	0,24
3	30	0,6	15	0,25
5	90	1,0	25	0,26
7	125	1,5	33	0,27
10	160	1,9	52	0,28
15	240	2,7	105	0,31
20	360	3,7	220	0,34
24	400	4,8	370	0,37

Таблица 2

Градуировочные коэффициенты для экспресс-оценки поглощенной в легких дозы по результатам СИЧ-измерения при наличии априорной информации о характере аварии [9]

[Table 2

Calibration coefficients for the express assessment of the absorbed dose in the lungs based on the results of the SICh measurement based on the priory information of the type of an accident]

Время обследования, ч [Time of the assessment, hour]	Значения градуировочных коэффициентов $K_{\text{гр}}$, мГр·с/имп, в зависимости от типа аварии [Values of the calibration coefficients, Kgr, mGy*s/counts, based on the type of an accident]			
	A1	A2	A3	A4
2	0,3	0,045	17	3,7
3	0,8	0,07	25	4,2
5	2,2	0,1	50	4,5
7	3,7	0,17	80	4,8
10	7	0,3	170	5,1
15	10	0,5	350	6,5
20	17	0,85	550	7,1
24	25	1,1	850	7,5

При измерении содержания радионуклидов в легких обследуемый находится в положении сидя, при этом детектор направлен на правое легкое и отстоит от поверхности тела человека на 20 см.

Измерения излучения от легких должны быть выполнены в сроки спустя 2–3 ч, но не позже 15 ч после инкорпорации. Неопределенность в оценке дозы не более 50%, если аварийная ситуация относится к одному из типов А1–А4 [9].

Экспресс-оценка поглощенной дозы в щитовидной железе

В случае аварии на ЯЭУ возможно поступление в организм смесей различных радионуклидов йода и их радиоактивных изобарических предшественников – нуклидов теллура и сурьмы. Обследование пострадавших должно быть выполнено в течение не более 2 суток, иначе информация о дозе облучения щитовидной железы за счет короткоживущих радионуклидов йода будет потеряна. При измерении содержания радионуклидов в щитовидной железе детектор устанавливается под углом 30°, при этом расстояние от шеи обследуемого до детектора составляет 20 см. Алгоритм оценки поглощенной дозы основан на регистрации гамма-излучения в двух энергетических интервалах: 300–580 кэВ и 600–800 кэВ. Поглощенная доза рассчитывается по формуле:

$$D_{щж}, \text{ мГр} = K_{\text{попр}} \cdot N_1 \cdot K_{щж}, \quad (3)$$

Зависимость градуировочного коэффициента $K_{щж}$ от времени обследования при измерении в сроки спустя $t = 2–48$ ч после аварийного поступления аппроксимируется следующей формулой [9]:

$$K_{щж}, \text{ мГр}\cdot\text{с}/\text{имп} = 14 \cdot t^{0,25} + 16,5 \cdot t^{-1} \quad (4)$$

Поправочная функция $K_{\text{попр}}$, учитывающая изменение нуклидного состава инкорпорированной смеси и коррелирующая с изменением отношения скоростей счета, регистрируемых в 1-м и 2-м энергетических интервалах, аппроксимируется формулой:

$$K_{\text{попр}} = 6,3 \cdot a^2 - 5,7 \cdot a + 1,3, \quad (5)$$

$$\text{где } a = N_2/N_1,$$

$N_1 = N_{1щж} - N_{1пр}$ и $N_2 = N_{2щж} - N_{2пр}$ – скорости счета (имп/с), регистрируемые от области шеи обследуемого в 1-м и 2-м энергетических интервалах за вычетом скоростей счета, регистрируемых от области предплечья, соответственно.

Измерение скоростей счета от области предплечья необходимо, поскольку позволяет учесть не только внешний гамма-фон и его экранировку шеи обследуемого, но в какой-то степени и вклад «мешающего» излучения от радионуклидов йода, находящихся в крови, поскольку при измерении гамма-излучения от щитовидной железы в поле чувствительности коллимированного детектора попадают также и находящиеся в области шеи кровеносные сосуды.

В указанные сроки обследования после аварийной инкорпорации неопределенность в оценке поглощенной в щитовидной железе дозы составляет 30% вне зависимости от соотношения в инкорпорированной смеси радионуклидов йода и их радиоактивных изобарических предшественников – радионуклидов теллура и сурьмы [9].

Таким образом, предлагаемая схема основных мероприятий при осуществлении послеаварийного индивидуального контроля внутреннего облучения персонала судов с ЯЭУ выглядит следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

Время, цели и методы проведения послеаварийного контроля внутреннего облучения

[Table 3

Time, goals and methods of the post-accident control of the internal exposure]

Этап [Stage]	Время после аварии [Time after the accident]	Цель [Goal]	Метод получения информации [Method of obtaining the information]
I	3–5÷7 ч [3–5÷7 hours]	Установление факта инкорпорации гамма-излучающих радионуклидов и выявление лиц, подлежащих дальнейшему обследованию [Confirmation of the incorporation of the gamma-emitting radionuclides. Detection of the individuals for the further examination]	Определение скорости счета свыше контрольного уровня методом радиометрии всего тела с помощью радиометра типа РИГ-07Т [Estimation of the counting speed above the control level using the RIG-07T type radiometer]
II	5–10÷12 ч [5–10÷12 Hours]	Оценка уровня суммарного поступления радионуклидов в организм [Assessment of the level of the total radionuclide intake into the body]	Радиометрия всего тела с помощью радиометра типа РИГ-07Т [Whole body radiometry using the RIG-07T type radiometer]
III	2–24 ч [2–24 Hours]	Оценка поглощенных доз в легких и щитовидной железе [Assessment of the absorbed doses in lungs and thyroid]	Радиометрия гамма-излучающих радионуклидов в легких и щитовидной железе с помощью радиометра типа РИГ-07Т [Radiometry of the gamma-emitting radionuclides in the lungs and thyroid using the RIG-07T type radiometer]
IV	Более 2 сут [more than 2 days]	Исследование активности и распределения по органам долгоживущих и медленно выводящихся радионуклидов, оценка доз внутреннего облучения [Evaluation of the activity and organ distribution of the long-lived and slowly releasing radionuclides, assessment of the doses from internal exposure]	Гамма-спектрометрия излучения всего тела и органов с помощью высокочувствительного СИЧ [Gamma-spectrometry of the whole body and organs using a highly sensitive whole body counter]

Выводы

1. Экспресс-оценка уровня суммарного поступления радионуклидов в организм человека при радиационной аварии на кораблях ВМФ производится на основании измерений гамма-излучения от всего тела человека, проведенных в сроки спустя 5–7 ч и 10–12 ч после аварийного поступления, что позволяет выделить группу лиц, не подвергшихся инкорпорации, и лиц, у которых определено поступление в организм радиоактивных веществ и требующих углубленного обследования, в том числе спектрометрического, и лечения (деконтаминации) в специализированном лечебно-профилактическом учреждении.

2. С целью выработки программы лечебных мероприятий в течение первых суток с помощью радиометра типа РИГ-07Т проводятся измерения скорости счета, а затем оценки поглощенных доз в отдельных критических органах: в легких как основном органе на пути поступления радионуклидов при авариях и в щитовидной железе, в высокой степени депонирующей радионуклиды йода и являющиеся одним из ведущих факторов внутреннего облучения в аварийных ситуациях.

3. На стадии госпитализации и лечения облученных лиц в специализированной клинике (центре), т.е. в сроки более 2 сут, с помощью высокочувствительного СИЧ проводится гамма-спектрометрический анализ инкорпорированной активности с целью исследования содержания радионуклидов в организме, распределения их по органам и тканям, контроля выведения из организма и эффективности лечения, оценки дозы внутреннего облучения.

Литература

1. Обоснование методов оценки ближайших последствий облучения личного состава кораблей ВМФ при авариях

ЯЭУ / Отчет о НИР, шифр «Радиолог». – СПб.: ЦНИИМО РФ, 2002. – 97 с.

2. Рекомендации по послеаварийной оценке начального поступления, дозы на легкие и щитовидную железу по данным экспресс-радиометрии приборами РИГ-02С и ДАК-1. – Л.: НИИ ГМТ, 1989. – 25 с.
3. Оценка в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 уровней радиационного воздействия на население, проживающее в зоне наблюдения, при возможных авариях на предприятиях, осуществляющих утилизацию кораблей и судов с ядерными энергетическими установками (Головной филиал «СРЗ «НЕРПА» ОАО «ЦС «ЗВЕЗДОЧКА») / Отчет о НИР. – СПб.: ФГУП НИИ ПММ, 2010. – 100 с.
4. Сивинцев, Ю.В. Радиоэкологические последствия радиационной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма / Ю.В. Сивинцев, В.Л. Высоцкий, В.А. Данилян // Атомная энергия. – 1994. – Т. 76, Вып. 2. – С. 158-160.
5. Международная шкала оценки опасности событий на АЭС // Атомная энергия. – 1991. – Т. 70, Вып. 1. – С. 3-8.
6. Катков, А.Е. Радиоэкологическая аргументация последствий воздействия аварии на Чернобыльской АЭС на состояние здоровья участников ее ликвидации (Сообщения 1 и 2) / А.Е. Катков, Э.Н. Кабишев, С.А. Бобров, В.А. Тарита, А.С. Титов // Ликвидаторы последствий аварии на ЧАЭС. – 1995. – С. 33-46.
7. Радиометр активности гамма-излучающих радионуклидов РИГ-07Т. – СПб.: НИИ ПММ, 2004. – 21 с.
8. Комплекс спектрометров излучений человека СИЧ-Э. – СПб.: ООО НТЦ «Радэк», 2008. – 42 с.
9. Алгоритмы экспресс-радиометрического контроля внутреннего облучения при авариях на ядерных энергетических установках радиометром РИГ-07Т. – СПб.: НИИ ПММ, 2004. – 10 с.

Поступила: 21.08.2018 г.

Фирсанов Владимир Борисович – ведущий электроник научно-исследовательской лаборатории спектрометрии излучений человека Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. **Адрес для переписки:** 194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 4/2; E-mail: sich@arcerm.spb.ru

Тарита Вольдемар Андреевич – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий – ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории спектрометрии излучений человека Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

Арефьева Дарья Владимировна – научный сотрудник научно-исследовательской испытательной лаборатории проблем радиационной безопасности Научно-исследовательского института промышленной и морской медицины, Санкт-Петербург, Россия

Брук Геннадий Янкелевич – заведующий лабораторией внутреннего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Яковлев Вячеслав Арсентьевич – научный сотрудник лаборатории внутреннего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Фирсанов В.Б., Тарита В.А., Арефьева Д.В., Брук Г.Я., Яковлев В.А. Послеаварийный контроль внутреннего облучения при радиационных авариях на кораблях и судах с ядерными энергетическими установками: задачи и аппаратно-методическое обеспечение // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 4. – С. 64-70. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4 -64-70

Internal irradiation control after radiation accidents on ships and vessels with nuclear power units: tasks and hardware-methodical support

Vladimir B. Firsanov¹, Voldemar A. Tarita¹, Darya V. Arefyeva², Gennadiy Ya. Bruk³, Vyacheslav A. Yakovlev³

¹ The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

² Research Institute of Industrial and Maritime Medicine, St. Petersburg, Russia

³ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, St. Petersburg, Russia

In the case of radiation accident on a board of ships and vessels with nuclear power units, radioactive substances can be released into the environment and absorbed by the human body. The radioactive contamination is associated with a complex and rapidly disintegrating composition of radionuclides, which are products of nuclear fission and induced radioactivity. Therefore, the need for prompt post-accident control of internal exposure is justified. In the article, radiation accidents are classified in relation to ships and vessels with nuclear power units. As an example, one of the most severe accidents that occurred when nuclear fuel was transshipped on a nuclear-powered submarine in the Chazhma Bay in 1985 is considered. Methods for determining the incorporated radioactivity are described. Direct measurement of radionuclide content in a human body or an organ using human radiation spectrometers is shown to be the most accurate. The hardware-methodical support and the main measures for the post-emergency individual control of the internal exposure of personnel of vessels with nuclear power plants are proposed.

Key words: radiation accident, nuclear power unit, internal irradiation, radionuclide, human radiation spectrometer.

References

1. Justification of the methods of the assessment of the close consequences of the exposure of the man power of the navy ships from the nuclear power plant accidents. Report on the scientific-research project, code "Radiolog". St.Petersburg, Central scientific-research institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2002, 97 p. (In Russian)
2. Recommendations on the post-accident assessment of the initial intake, dose in the lung and thyroid based on the express radiometry methods with RIG-02C and DAK-1. Leningrad, NII GMT, 1989, 25 p. (In Russian)
3. Assessment of the compliance to the NRB 99/2009 requirements of the levels of radiation exposure to the public residing in the surveillance zone from the possible accidents on the facilities disposing the ships and vessels with nuclear power plants (Head branch of the "SRZ NERPA" JSC "CZ ZVEZDOCHKA"). Report on the scientific-research project. – St.Petersburg, FGUP NII PMM, 2010, 100 p. (In Russian)
4. Sivintsev Yu.V., Vysotsky V.L., Danilyan V.A. Radiological consequences of the radiation accident at Chazhma bay. Atomic energy, 1994, Vol. 76, Issue 2, pp. 158-160. (In Russian)
5. International scale of the assessment of the hazard of the NPP accidents. Atomnaya energiya = Atomic energy, 1991, Vol. 70, Issue 1, pp. 3-8. (In Russian)
6. Katkov A.E., Kabishev E.N., Bobrov S.A., Tarita V.A., Titov A.S. Radioecological arguments of the consequences of the Chernobyl NPP impact on the health of the liquidators (Reports 1 and 2). Liquidators of the Chernobyl NPP consequences, 1995, pp. 33-46. (In Russian)
7. Radiometer of the activity of the gamma-emitting radionuclides RIG-07T. St.Petersburg, NII PMM, 2004, 21 p. (In Russian)
8. Complex of the spectrometers of the human exposure SICH-E. St.Petersburg, JSC NTC "Radek", 2008, 42 p. (In Russian)
9. Algorithms of the express-radiometric control of the internal exposure for the accidents on the nuclear power plants using radiometer RIG-07T. St.Petersburg, NII PMM, 2004, 10 p. (In Russian)

Received: August 21, 2018

For correspondence: Vladimir B. Firsanov – Chief electronic engineer of the scientific-research laboratory of the spectrometry of the human exposure of the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia (Akademika Lebedeva str., 4/2, St.Petersburg, 194044, Russia; E-mail: sich@arterm.spb.ru)

Voldemar A. Tarita – MD, docent, head – leading scientist of the scientific-research laboratory of the spectrometry of the human exposure of the Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St.Petersburg, Russia

Darya V. Arefyeva – Scientist of the scientific-research test laboratory of the problems of the radiation safety, Research Institute of Industrial and Maritime Medicine, St.Petersburg, Russia

Gennadiy Ya. Bruk – Head of the Internal Exposure Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, St.Petersburg, Russia

Vyacheslav A. Yakovlev – Researcher, Internal Exposure Laboratory, of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, St.Petersburg, Russia

For citation: Firsanov V.B., Tarita V.A., Arefyeva D.V., Bruk G.Ya., Yakovlev V.A. Internal irradiation control after radiation accidents on ships and vessels with nuclear power units: tasks and hardware-methodical support. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 4, pp. 64-70. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-64-70

Vladimir B. Firsanov

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine

Address for correspondence: Akademika Lebedeva str., 4/2, St.Petersburg, 194044, Russia; E-mail: sich@arterm.spb.ru