

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Федеральный научно-клинический центр
специализированных видов медицинской помощи и медицинских
технологий Федерального медико-биологического агентства»
(ФГБУ ФНКЦ ФМБА России)**

АКАДЕМИЯ ПОСТДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

КАФЕДРА ТОКСИКОЛОГИИ И КЛИНИЧЕСКОЙ ФАРМАКОЛОГИИ

Современные представления о поражающем действии ядерного и радиологического оружия. Медико-тактическая характеристика очагов поражения

Учебное пособие

Предназначено для слушателей,
проходящих профессиональную
переподготовку по специальности
«Токсикология»

**Москва
2023**

Авторский коллектив:

доктор медицинских наук профессор Иванов В.Б.

ВВЕДЕНИЕ. СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В МИРЕ

Интенсивное развитие атомной энергии и промышленности, широкое её распространение в мире в настоящее время, испытания ядерного оружия, крупные аварии на атомных электростанциях и предприятиях остро поставили вопросы экологических аспектов использования источников ионизирующего излучения в народном хозяйстве, об угрозе человечеству экологической катастрофы.

Открытия в 1895 г. В.К. Рентгеном ионизирующего излучения и А. Беккерелем (1896) природной радиоактивности урана послужили началом развития радиационной биологии и медицины. Эти открытия позволили обнаружить, что человек обитает в среде с постоянным радиационным фоном, который по современным данным существенно не менялся за период эволюции органического мира. Любая форма жизни на Земле связана с непрерывным внешним и внутренним облучением, ионизирующим излучением. При отсутствии радиационного фона замедлено развитие личинок насекомых, рост проростков семян, развитие крысят. В районах земного шара с повышенным радиационным фоном (10 – 20 мЗв/год), например, среди аборигенов Бразилии не выявлено генетических последствий радиации (частота аномалий развития, смертность новорожденных, частота болезни Дауна, опухолевых процессов).

Естественный радиационный фон представляет собой ионизирующие излучения, действующие на человека на поверхности земли от природных источников космического и земного происхождения.

Космические лучи представляют собой поток ядерных частиц (1 част./см²•с), падающих на землю из космоса со средней энергией около 100 МэВ (плотность энергии 0,6 эВ/см³) и состоящих из протонов (90,0 %), α-частиц (7,0 %), ядер лития, бериллия, углерода, кислорода и азота (0,8 %) и тяжелых частиц с зарядом $Z > 20$ (0,2 %). При резком возрастании солнечной активности (солнечные вспышки) интенсивность космического излучения может возрастать в 2 раза. При взаимодействии космического излучения с атмосферой Земли происходит его практически полное поглощение с формированием вторичного излучения с максимальной активностью на высоте 20 – 30 км в магнитном поле Земли. У поверхности земли на уровне моря оно составляет 0,05 % от максимальной ее интенсивности. Вторичное космическое излучение состоит из фотонов, электронов с энергией до 100 МэВ, протонов, нейтронов с энергией 10 – 15 МэВ и мезонов с энергией до 600 МэВ. Мезоны составляют до 80 % активности излучений. Доза облучения человека за счет космических лучей составляет 0,39 мЗв/год. Радионуклиды, возникающие на Земле под действием космических лучей, – в основном углерод (¹⁴C) и тритий (³H).

Внешнее γ-облучение за счет естественного радиационного фона в основном связано с радионуклидами, содержащимися в почве и скальных породах (роль радионуклидов воздушной среды по γ-фону ничтожна), на 2/3 обусловлено ²³⁸U и ²³²Th и продуктами их деления, на 1/3 – ⁴⁰K. Явление радиоактивности вещества Земли обусловлено самопроизвольным превращением ядер ²³²Th, ²³⁵U

и ^{238}U , содержащихся в земной коре, в другие химические элементы в соответствии с порядком радиоактивного распада в трех естественных радиоактивных рядах: актиноурана, урана и тория-232. Ядра данных тяжелых элементов перенасыщены нейтронами (их число $\sim 1,5$ раза превышает число протонов в ядре), что делает их нестабильными и ведет их к радиоактивному распаду с выделением энергии в виде лучей (α , β и γ - лучи), способных проникать в другие вещества и вызывать в них ионизацию атомов и молекул. Распад радиоактивных веществ происходит с постоянной скоростью, присущей данному виду ядер с периодом полураспада от долей секунд до несколько миллиардов лет. Различают α и β - распад радиоактивных элементов.

α -частицы (ядра гелия), испускаемые радионуклидами, имеют энергию 4–7 МэВ и < 2 МэВ практически не наблюдаются. При распаде могут возникать возбужденные ядра (продукты распада), которые при переходе в основное состояние испускают гамма-кванты. Появление электрона (β - частицы) связано с превращением в ядре нейтрона в протон. Одновременно происходит испускание антинейтрино: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$. Испускаемые электроны дают непрерывный энергетический спектр (от нуля до несколько МэВ), что связано с различным распределением высвобождаемой при бета-распаде ядер энергии между электронами и нейтрино. Значительная часть энергии может освобождаться в виде γ -лучей при переходе ядер элементов из возбужденного в стабильное состояние.

Концентрация ^{238}U и ^{232}Th в среднем в земной коре $3 \cdot 10^{-4} \%$ и $8 \cdot 10^{-4} \%$. В некоторых районах земного шара имеет место более интенсивное гамма-облучение за счет более высокого содержания в почве и горных породах урана и тория (на 2 порядка выше). В Бразилии в штате Рио-де-Жанейро (пляжи с монацитовыми песками) доза γ -облучения составляет 10 мЗв/год, в Индии в штате Керал - до 28 мЗв/год, в горных районах Франции - до 3,5 мЗв/год. ^{14}C и ^3H , образующиеся под действием космических лучей, и другие природные радионуклиды, прежде всего, из-за свойственной им низкой энергии излучений существенного влияния на естественный радиационный фон не оказывают. В среднем доза γ -облучения для человека на открытой местности составляет 0,46 мЗв/год. Вклад β -излучения природных радионуклидов в эквивалентную дозу составляет 7 мкЗв.

Внешнее облучение составляет от 1/3 до половины лучевой нагрузки на человека от природного фона, остальное обусловлено за счет внутреннего облучения от радионуклидов, поступивших в организм через органы дыхания, с пищей и водой. Подавляющее значение в формировании дозы внутреннего облучения составляет радон ^{222}Rn . Радон ^{222}Rn - продукт распада радия, выделяется из почвы и горных пород, растворяется в воде (1 Бк в 1 л воды) или смешивается с воздухом (3–4 Бк в 1 м³ воздуха). Наибольшее содержание радона в земле на глубине 5 м, в поверхностных слоях происходит его выветривание и выделение в атмосферу. В радоновых источниках, где концентрация радия > 10 –11 г/л, его на 3 порядка больше. В жилых и производственных помещениях концентрация радона в 2–5 раз выше (8–25 Бк в 1 м³), чем на открытом воздухе, что связано с его накоплением из подвальных помещений и стен дома при

ограничении в нем вентиляции. Риск радиационных отдаленных последствий (20% рака легких связано с действием α -частиц радона) появляется, когда его содержание в воздухе увеличивается до 500–1000 Бк в 1 м³, что имеет место, в частности, на урановых рудниках и в некоторых жилых постройках. Доза на легкие в 10 раз больше за счет действия α -частиц радона и составляет до 50 % эффективной дозы для человека. Доза облучения человека от воздействия природного радона составляет 1,3 мЗв/год.

В табл. 1 представлены годовые эффективные дозы от различных природных источников.

Таблица 1

Годовая эффективная доза от природных источников

Источники облучения	Годовая эффективная доза, мЗв/год	
	типичная	повышенная
Космическое излучение	0,39	2,0
Естественный гамма-фон от поверхности земли	0,46	4,3
Инкорпорированные радионуклиды в теле человека (кроме радона)	0,23	0,6
Радон и его продукты распада	1,3	10
Суммарная доза	2,4	—

Поступление радионуклидов в организм через пищеварительную систему связано в основном с приемом пищевых продуктов и, прежде всего, растительных за счет ⁴⁰K (содержание ⁴⁰K в организме человека 83 мг, или 22,2•10³ Бк). По характеру распределения радионуклидов в организме можно выделить группу радионуклидов, накапливающихся:

- в костной ткани (стронций -⁹⁰Sr, радий ²²⁶Ra, уран ²³⁸U, торий ²²⁸Th, плутоний ²³⁹Pu, свинец ²¹⁰Pb);
- в кроветворных тканях (полоний ²¹⁰Po);
- в щитовидной железе (йод ¹³¹I); в мышечной ткани (цезий ¹³⁷Cs, калий ⁴⁰K);
- равномерно во всех тканях (углерод ¹⁴C и тритий ³H).

Суммарная радиоактивность растений и тканей животных по α -излучателям (Po-210, Ra-226, U-238, Th-232) составляет 0,37 и 0,037 Бк/кг. Удельная радиоактивность по углероду и тритию незначительна или ничтожна. В табл. 2 и 3 представлена общая структура вклада техногенных источников в облучение человека в среднем по ситуации в мире.

Таблица 2

**Структура техногенных источников облучения людей за период
с 1945 по 1992 год**

Источник	Показатель	Вклад, %
Природные источники	В среднем за 50 лет	76,6
Медицинское облучение: Диагностика лечение	В среднем за 50 лет	19,5
		10,7
		8,8
Испытания ядерного оружия в атмосфере	Все испытания	3,5
Ядерная энергетика	Современный уровень	0,04
	В среднем за 50 лет	0,2
Радиационные катастрофы и инциденты	Все случаи	0,07
Профессиональное облучение Медицинское Ядерная энергетика Промышленное использование источников ионизирующего излучения Защитные мероприятия Работа в шахтах, не связанная с добычей урана	В среднем за 50 лет	0,07
		0,005
		0,01
		0,003
		0,001
		0,05
		0,05

Таблица 3

Уровни облучения населения за счет использования в практике ионизирующего излучения как эквивалент периода облучения от природных источников

Причина облучения	Показатель	Эквивалентный период облучения за счет природного радиационного фона
Испытания ядерного оружия	Все испытания	2,3 года
Медицинское облучение	Ежегодная практика	90 дней
Аварии и инциденты	Все случаи	20 дней
Ядерная энергетика	За весь срок работы	10 дней
	Ежегодная работа	1 день
Профессиональное облучение	Ежегодная работа	8 часов

Доза облучения человека от внутреннего облучения за счет инкорпорированных радионуклидов за исключением радона составляет 0,23 мЗв/год. Медицинские обследования дополнительно вносят в среднем для населения 1 – 1,5 мЗв/год. Сжигание органического топлива, прежде всего угля, загрязняют среду радионуклидами (K-40, Th-232, U-238) до 1–3 мкЗв/год, ядерные испытания до 1980 г. (Sr-90, Cs-137) до 20–25 мкЗв/год, ядерная энергетика – 0,2 мкЗв/год.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЯДЕРНОГО И РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

В современной войне ядерное оружие занимает особое место. Оно является главным средством поражения, главным средством ведения войны. Тактико-технические и военно-экономические характеристики могут позволить широко использовать ядерные боеприпасы как для нанесения ударов по промышленным, политико-административным центрам, транспортным узлам и военным объектам в глубине территории противника, так и для поражения личного состава войск и вывода из строя боевой техники на поле боя. Соответственно предназначению различают стратегическое и тактическое ядерное оружие. Разграничение это в известной степени условно, поскольку одни и те же ядерные боеприпасы могут быть использованы в различных целях.

Развитие и совершенствование ядерного оружия оказывают большое влияние на средства и методы ведения вооруженной борьбы, что в свою очередь отражается на организации и оснащении вооруженных сил, стратегии, оперативном искусстве и тактике ведения боевых действий, в том числе и на медицинском обеспечении войск.

Ядерное оружие - это боеприпасы (бомбы, снаряды, боеголовки ракет, фугасы и др.), поражающее действие которых обусловлено внутриядерной энергией, высвобождающейся при взрывных ядерных реакциях. Получение ядерной энергии достигается посредством деления ядер атомов некоторых тяжелых элементов (уран, плутоний) или синтеза ядер атомов наиболее легких элементов в более тяжелый, например изотопов водорода в гелий.

Одна из важнейших реакций, связанных с захватом нейтрона, является реакция деления, при которой ядро делится на приблизительно две равные части. Делятся ядра только тяжелых элементов, начиная с тория. Для большинства тяжелых элементов ядра делятся только при облучении быстрыми нейтронами. Например, для деления ядра ^{238}U требуется воздействие нейтронов с энергией более 1 МэВ. Цепная ядерная реакция невозможна на быстрых нейтронах в естественном уране из-за сильного резонансного поглощения нейтронов.

Способность деления ядер с развитием цепной реакции имеет место при облучении тепловыми нейтронами у нескольких тяжелых элементов: U-233, U-235, Pu-239 и Pu-241. Впервые явление деления урана медленными нейтронами открыли немецкие физики О. Ган и Ф. Штрассман в 1938 г., а объяснение его механизма дали Л. Мейтнер и О. Фриш в 1939 г. В этом же году экспериментально было подтверждено Ф. Жолио-Кюри, Г. Хальбан и Л. Коварски образование вторичных нейтронов при делении урана. В этот предвоенный период были заложены основы теории ядерной реакции в работах отечественных физиков Я.Б. Зельдовича и Ю.Б. Харитона.

При делении ядра тяжелого элемента образуются два-три вторичных нейтрона со средней энергией около 2 МэВ. При такой большой энергии нейтрон плохо захватывается ядрами. При столкновении с ядрами вещества нейтроны по мере потери своей энергии захватываются ядрами. Если система очень мала, то слишком много нейтронов улетают во внешнюю среду. Суще-

ствуют критические размеры системы, при которой осуществляется стационарная цепная реакция. Если размеры системы больше критических, то цепная реакция экспоненциально нарастает. Критическая масса для U-235 — 30 кг, для Pu-239 — 6 кг.

В атомных боеприпасах деление ядра и высвобождение внутриядерной энергии осуществляется за счет воздействия нейтронов на ядра атомов. При этом ядро тяжелого элемента распадается, как правило, на два "осколка", представляющих собой ядра элементов, находящихся в средней части периодической системы Менделеева, и выделяется большее количество энергии. Для примера, реакцию урана - 235 под действием нейтрона можно представить следующим образом:



Вместо циркония и теллура почти с равной вероятностью могут образоваться стронций-95 и ксенон-139 или другие осколочные ядра деления.

При реакции деления испускаются два или три нейтрона, способных вызвать деление следующих ядер. Если образующиеся нейтроны захватываются другими ядрами, которые в свою очередь делятся с выделением 2 - 3 новых нейтронов, реакции будет самопроизвольно лавинообразно нарастать. В результате произойдет цепная реакция с почти мгновенным выделением энергии, т.е. ядерный взрыв.

Часть нейтронов может вылететь из сферы реакции, не вызвав деления атомов. Вероятность такого явления тем меньше, чем больше число атомов встретится на пути траектории нейтрона, т.е. чем больше размеры (масса) и плотность делящегося вещества. Цепная реакция становится возможной, если масса вещества превышает критический уровень, при котором более одного из образовавшихся при ядерном делении нейтронов не покидает сферу реакции и вызывает деление следующего ядра.

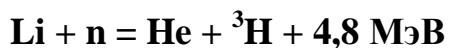
Критическая масса может быть получена из некритической двумя путями: или добавлением определенного количества делящегося материала, или повышением его плотности. В соответствии с этим мгновенное формирование критической массы в ядерном боеприпасе достигается одним из двух способов. В первом (заряды пушечного типа) случае два или более кусков делящегося вещества, масса каждого из которых менее критической, очень быстро (под действием взрыва обычного взрывчатого вещества) объединяются в один со сверхкритической массой. Во втором случае (заряды экспозивного типа) состояние критической массы достигается путем повышения плотности делящегося вещества. Для этого делящееся вещество докритической массы помещается в центре сферического заряда обычного взрывчатого вещества, подрываемого снаружи системой детонаторов. Возникает направленная внутрь волна детонации, которая обеспечивает сжатие делящегося вещества, в результате чего масса его становится сверхкритической и происходит ядерный взрыв.

В конструкцию ядерного боеприпаса обязательно входят источник нейтронов для инициирования цепной реакции, а также специальная оболочка - отра-

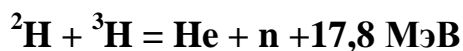
жатель нейтронов и внешняя оболочка.

В термоядерных боеприпасах высвобождение внутриядерной реакции происходит при слиянии ядер легких элементов с образованием более ядер. Эти реакции могут протекать при сверхвысоких температурах (несколько десятков миллионов градусов). Только при таких температурах создаются условия, когда кинетическая энергия теплового движения ядер может превысить потенциальный барьер, создаваемый кулоновскими силами отталкивания электронных оболочек и самих атомных ядер. Высокая температура, необходимая для начала термоядерной реакции, обеспечивается ядерным взрывом, основанным на цепной реакции деления. В дальнейшем термоядерная реакция продолжается уже за счет выделяющейся при синтезе энергии.

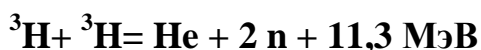
Основная часть исходных реагентов в термоядерных боеприпасах крупных калибров представлена дейтридом лития. Под действием нейтронов, образующихся при взрыве инициирующего заряда на основе реакции деления, происходит реакция с образованием из лития трития:



В результате получаются компоненты, необходимые для развития различных термоядерных реакций. Наиболее легко инициируется реакция между дейтрием и тритием:



Возможны и другие реакции:



В целом, при реакциях синтеза выделяется примерно в три раза больше энергии, чем при реакции деления равного по массе количества урана или плутония.

Таким образом, термоядерный боеприпас объединяет в одном корпусе заряд, действующий на основе реакции деления, и заряд, действующий на основе реакции синтеза, а термоядерный взрыв имеет две мгновенно протекающих фазы: деление ядер урана-235 (плутония-239) - синтез ядер гелия из ядер изотопов водорода.

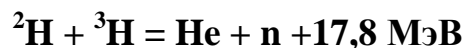
В боеприпасах комбинированного типа термоядерный заряд заключен в оболочку из урана-238. Это дает возможность нейтронам, выделяющимся при термоядерных реакциях и обладающим высокой энергией, вызывать деление ядер урана-238, являющимся в сотни раз более дешевым делящимся материалом, чем все остальные, т.к. он остается в качестве отходов на предприятиях атомной промышленности при получении изотопа урана-235.

Таким образом, взрыв развивается в три стадии: цепная реакция деления урана-235 (плутония-239) - синтез ядер гелия из ядер изотопов водорода - цеп-

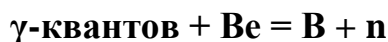
ная реакция деления ядер урана-238 оболочки. Причем, следует отметить, более 80 % энергии взрыва комбинированного боеприпаса выделяется именно за счет деления ядер урана-238.

Нейтронные боеприпасы представляют собой термоядерные устройства малой и сверхмалой мощности. В отличие от термоядерных и комбинированных зарядов большого калибра основная часть их заряда состоит из тяжелых изотопов водорода- трития и дейтерия. Для нагрева смеси дейтерия и трития до температуры, при которой начинается слияние их ядер, может использоваться цепная реакция деления или специальное лазерное устройство.

Термоядерная реакция имеет следующий характер:



и характеризуется тем, что в ходе ее высвобождается значительное количество высокоэнергетических нейтронов, на что расходуется около 80% всей энергии реакции. Эти особенности и обеспечивают повышенный выход нейтронного излучения и сильное поражающее действие начальной радиации, т.к. высокоэнергетические нейтроны обладают более высокой проникающей способностью, большей длиной пробега в воздухе, чем нейтроны деления и, взаимодействуя с материалами окружающей среды, в частности с атомами элементов воздуха, образуют больше вторичного гамма-излучения. Кроме того, в оболочку нейтронного боеприпаса включены специальные вещества, например бериллий, действие на которые γ -квантов, образующихся в процессе термоядерной реакции, приводит к дополнительному выделению нейтронов:



Наконец, нейтронные боеприпасы включают в себя специальную систему удержания на более длительный срок, чем обычные термоядерные устройства, плазмы, образующейся в процессе термоядерной реакции, что приводит к меньшему расходу энергии на формирование таких поражающих факторов, как световое излучение и ударная волна.

Для характеристики энергии взрыва ядерного заряда обычно используют понятие "мощность".

Мощность ядерных боеприпасов принято характеризовать тротиловым эквивалентом, т.е. такой массой (в тоннах) обычного взрывчатого вещества - тротила, энергия взрыва которого равна энергии, выделяющейся при воздушном взрыве ядерного заряда.

Современные ядерные боеприпасы могут иметь мощность взрыва от нескольких десятков тонн до десятков миллионов тонн.

По мощности взрыва ядерные боеприпасы условно делят на пять диапазонов:

- сверхмалый (мощность менее 1 тыс.т),
- малый (мощность от 1 тыс.т до 10 тыс.т),
- средний (мощность от 10 тыс.т до 100 тыс.т),
- крупный (мощность от 100 тыс.т до 1000 тыс.т),
- сверхкрупный (мощность более 1 млн.т)

При применении ядерного боеприпаса происходит практически мгновенное выделение огромного количества энергии - взрыв. Взрыв любого заряда начинается с цепной реакции деления атомных ядер.

Первоначально энергия выделяется в виде кинетической энергии образовавшихся частиц (осколков ядер, нейтронов, α -частиц и др.) и энергии γ -квантов.

Эти частицы и γ -квантов, взаимодействуя с атомами не прореагировавшей части заряда, передают им большую часть энергии, в результате чего температура в зоне ядерной реакции повышается до нескольких десятков миллионов градусов. При такой температуре вещество заряда и элементы конструкции боеприпаса мгновенно превращаются в ионизированный газ (плазму). В момент образования этот газ занимает ограниченный объем (объем боеприпаса) и давление в нем достигает несколько десятков миллионов атмосфер. Он испускает интенсивный поток рентгеновского излучения и, расширяясь, создает газовый поток, который представляет собой разлетающиеся с большой скоростью продукты взрыва заряда и испарившиеся вещества боеприпаса. Рентгеновское излучение и газовый поток, передавая свою энергию окружающей зону взрыва среде, вызывают формирование таких поражающих факторов ядерного взрыва, как световое (тепловое) излучение и ударная волна.

Часть нейтронов и γ -квантов, образующихся в процессе ядерной реакции (мгновенные нейтроны и γ -излучение), выходят за пределы зоны взрыва. Их поток вместе с образовавшимися при радиоактивном распаде продуктов деления нейтронами (запаздывающие нейтроны) и γ -излучением (его называют осколочным), а также γ -излучением, возникающим в результате взаимодействия нейтронов с веществами боеприпаса и окружающей средой, представляют собой поражающий фактор, который называют проникающей радиацией.

Радиоактивные продукты, образующиеся в результате цепной реакции деления атомных ядер (осколки деления, радиоактивные изотопы, возникающие при взаимодействии нейтронов с атомами не прореагировавшей части ядерного заряда), а также радиоактивные изотопы, образующиеся под действием испускаемых при ядерной реакции нейтронов на элементы окружающей среды, могут вызвать радиоактивное заражение атмосферы и территории.

В результате взаимодействия гамма-излучения с атомами окружающей среды образуются высокоэнергетические электроны, движущиеся преимущественно по направлению движения γ -квантов, и тяжелые положительные ионы, практически остающиеся на месте. Вследствие такого разделения положитель-

ных и отрицательных зарядов возникают электрические и магнитные поля – электромагнитный импульс, также являющийся поражающим фактором ядерного взрыва.

В электромагнитный импульс трансформируется незначительная доля энергии взрыва. При взрыве атомного и обычного термоядерного боеприпаса она распределяется между такими поражающими факторами, как:

- ударная волна - 50%,
- световое излучение - 35%,
- ионизирующие излучения - 15%,

из них проникающая радиация - 5%,

- радиоактивное заражение местности (энергия распада продуктов взрыва, создающих радиоактивное заражение) - 10%.

При взрыве нейтронного боеприпаса на долю ионизирующего излучения приходится более 80 % энергии взрыва, а на образование ударной волны и светового (теплого) излучения всего около 20 %.

Радиологическое оружие представляет собой радиоактивные материалы и устройства, специально созданные для их рассеивания (исключая ядерные взрывные устройства) на местности с целью нанесения поражения излучениями, прежде всего α -, β - и γ -излучениями, испускаемыми при распаде таких материалов. Таким образом, поражающим фактором радиологического оружия является радиоактивное заражение местности.

Основная идея для применения радиологического оружия заключается в заражении радиоактивными веществами местности, промышленных и других объектов с целью поражения личного состава войск и населения, сковывания маневра частей и подразделений, а также, чтобы воспрепятствовать использованию различных объектов оперативного или стратегического назначения. Радиоактивные вещества могут применяться в виде жидких растворов, аэрозолей, порошков, а доставка их к цели осуществляется с помощью авиационных бомб, артиллерийских снарядов, боевых частей ракет, различных распылителей. Так, при взрыве радиологической авиабомбы весом 100-200 кг на высоте 300-400 м создается сильное заражение местности на площади радиусом 300-450 м. С помощью десятка крылатых ракет можно распылить до тонны радиоактивных веществ и создать зону опасного заражения до 100 км².

Сырьем для производства боевых радиоактивных веществ в основном служат отходы, образующиеся при работе ядерных реакторов. Обычно это смесь нескольких изотопов, которые различаются активностью и периодом полураспада. Наиболее подходящие из них для боевого использования подлежат дополнительному выделению. Возможен и другой путь получения боевых РВ -

нейтронное облучение в реакторах специально подобранных веществ с выходом заданного состава изотопов.

Если ставят целью, используя радиологическое оружие, создать сильное заражение местности, но на относительно небольшой срок, например для решения тактических задач, то в качестве боевых радиоактивных веществ используют короткоживущие изотопы: натрий-29, кремний -31, марганец -56, стронций -89, иттрий -94, цирконий -95, йод - 131, у которых период полураспада исчисляется часами или днями.

В стратегических или оперативно- тактических целях, когда ставиться целью существенно затруднить работы на тыловых объектах или сковать действия войск противника, в качестве боевых радиоактивных веществ противника, в качестве боевых радиоактивных веществ могут найти применение долгоживущие изотопы, такие как кобальт -60, стронций -90, цезий - 137, плутоний - 239, у которых период полураспада составляет годы, а то десятки лет.

УДАРНАЯ ВОЛНА ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Ударная волна ядерного взрыва - один из основных поражающих факторов. В зависимости от того, в какой среде возникает и распространяется ударная волна - в воздухе, воде или грунте, ее называют соответственно воздушной волной, ударной волной (в воде) и сейсмозрывной волной (в грунте).

Воздушной ударной волной называется область резкого сжатия воздуха, распространяющаяся во все стороны от центра взрыва со сверхзвуковой скоростью. Обладающая большим запасом энергии, ударная волна ядерного взрыва способна наносить поражения людям, разрушать различные сооружения, вооружение и военную технику, и другие объекты на значительных расстояниях от места взрыва.

Поражения людей вызываются как прямым действием воздушной ударной волны, так и косвенно (летающими обломками сооружений, падающими деревьями, осколками стекла, камнями, грунтом и т.п.). Ударная волна ядерного взрыва, воздействуя на незащищенный личный состав, способна нанести ему травмы в основном такого же характера, как и при взрыве обычных снарядов и авиабомб, однако на значительно больших расстояниях. Характер и степень поражения людей зависят от избыточного давления в подошедшей ударной волне, от положения человека в этот момент и степени защиты.

Основной способ защиты личного состава, вооружения и военной техники от поражения ударной волной - изоляция их от действия повышенного давления и скоростного напора. Для этого используются укрытия (убежища).

СВЕТОВОЕ (ТЕПЛОВОЕ) ИЗЛУЧЕНИЕ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Световое излучение ядерного взрыва представляет собой электромагнитное излучение оптического диапазона, включающее:

- ультрафиолетовую ($=0,01-0,38\text{мк}$),
- видимую ($= 0,38-0,77\text{мк}$)

- и инфракрасную ($= 0,77-340\text{мк}$) – до 80 % от всего излучения области спектра. СИЯВ заключено в основном в спектральном интервале 0,3-2,5мк, т.к. ультрафиолетовое излучение интенсивно поглощается в слое воздуха, непосредственно примыкающим к светящейся области. Распространение СИЯВ в атмосфере имеет сложный характер. На облучаемую поверхность наряду с прямым излучением падает излучение, рассеянное в атмосфере и отраженное от поверхности земли, объектов и местных предметов.

Световой импульс U , кал/см², - количество энергии светового излучения, падающее за все время излучения на единицу площади неподвижной и не экранированной поверхности, расположенной перпендикулярно к направлению прямого излучения, без учета отраженного излучения.

Основным видом поражающего действия СИЯВ является тепловое поражение, наступающее при IT до определенного уровня. Тепловое поражение кожи и глаз вызывает ожоги. В некоторых случаях поражающее действие СИЯВ связано с возникновением фотохимических процессов (временное ослепление людей).

ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА

Под электромагнитным импульсом понимают те электромагнитные поля, которые сопровождают ядерные взрывы. Электромагнитный импульс образуется в основном в результате комптоновского эффекта. Гамма-кванты взрыва, взаимодействуя с атомами окружающей среды, образуют медленные положительные ионы и быстрые электроны, которые движутся по направлению порождающих гамма-квантов. В результате этого в окружающем пространстве возникают свободные электрические заряды, токи и поля. В свою очередь быстрые электроны также ионизируют среду, создавая медленные электроны и положительно заряженные ионы. В итоге среда становится электропроводящей, образуются элементарные электрические и магнитные поля. Складываясь, они создают результирующее магнитное поле, которое и является источником электромагнитного импульса. Он охватывает область радиусом около километра (или чуть больше), так как средняя длина свободного пробега гамма-квантов составляет сотни метров. Таким образом, электромагнитный импульс покрывает площадь в несколько квадратных километров. Напряженность электрического поля может достигнуть десятков киловольт на метр, а напряженность магнитного поля - до 100 ампер на метр. Время нарастания электромагнитного поля определяется высотой и энергией взрыва.

Продолжительность существования электромагнитного импульса примерно 150-200 миллисекунд, спектр частот его весьма широк – от единиц до сотен мегагерц. Однако с точки зрения поражающего действия наиболее опасны импульсы низких частот (10-15 кГц).

Особенностью электромагнитного импульса по сравнению с другими поражающими факторами ядерного взрыва является его способность распространяться на десятки и сотни километров в окружающей среде и по различным коммуникациям (сетям электро- и водоснабжения, проводной связи и т.п.). По-

этому электромагнитный импульс может оказать губительное действие на объекты там, где ударная волна, световое излучение и проникающая радиация теряют свое значение, как поражающие факторы.

Электромагнитный импульс наводит высокие напряжения, которые выводят из строя линии связи и электроснабжения, аппаратуру проводной и радиосвязи. Он пробивает изоляцию, расплавляет провода, выжигает элементы электросхем, вызывает короткое замыкание в электро- и радиотехнических устройствах, массовое срабатывание средств защиты, ионизацию диэлектриков, искажение или полное стирание магнитной записи, лишает "памяти" ЭВМ и т.п. Кроме того, ЭМИ может воспламенить аппаратуру, а также вызвать поражение людей электрическим током.

В целях защиты личного состава от поражающего действия наведенных электромагнитным импульсом токов и напряжений необходимо строго соблюдать правила техники электробезопасности при работе с электроустановками и электроприборами.

ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ

Проникающая радиация представляет собой поток гамма-излучения и нейтронов. Альфа- и бета-излучение из зоны взрыва практически полностью поглощается элементами конструкции боеприпаса и воздухом, и поэтому не являются компонентами проникающей радиации. Соотношения между дозой, создаваемой нейтронами и гамма-излучением, зависят от расстояния до центра взрыва и типа боеприпаса. Так, нейтронная компонента излучения преобладает в зоне поражения проникающей радиацией ядерных боеприпасов малой и сверхмалой мощности, и особенно нейтронных боеприпасов, по сравнению с боеприпасами среднего и крупного калибров. С увеличением расстояния от центра взрыва вклад нейтронов в общую дозу проникающей радиации уменьшается, а гамма-излучения, соответственно, увеличивается.

Гамма-излучение испускается из зоны ядерного взрыва в течение нескольких секунд с момента ядерной реакции. По своему происхождению это излучение разделяется на несколько составляющих:

- мгновенное гамма-излучение, сопровождающее ядерную реакцию;
- вторичное гамма-излучение, возникающее при неупругом рас
- сеянии и захвата нейтронов, т.е. при взаимодействии нейтронов с ядрами элементов воздуха, почвы;
- запаздывающее (осколочное) гамма-излучение, сопровождающее радиоактивный распад осколков деления.

Мгновенное гамма-излучение, испускаемое в процессе ядерной реакции деления за время, равное десятым долям микросекунды, почти полностью поглощается элементами конструкции боеприпаса, составляет 1% общей дозы гамма-излучения, поэтому при оценке поражающего действия обычно не учитывается.

Более значимым является запаздывающее гамма-излучение радиоактивных продуктов деления. Периоды полураспада этих элементов колеблются от

ничтожных долей секунды до многих лет. Скорость их полураспада и, соответственно, интенсивность испускаемого гамма-излучения максимальны сразу после взрыва. В отличие от мгновенного осколочное (запаздывающее) гамма-излучение испускается, когда материалы боеприпаса успевают испариться и расширяться, в связи с чем выход его значительно выше. Для некоторых типов боеприпасов в частности, основанных на реакции деления, и комбинированных, осколочное гамма-излучение формирует основную часть дозы гамма-излучения в зоне поражения. Средняя энергия γ -квантов, испускаемых продуктами деления в первую минуту после взрыва, составляет 2 МэВ. Время действия осколочного излучения определяется скоростью огненного шара и радиоактивного облака, а также спадом радиоактивности продуктов деления. Уже через 10-20 с радиоактивные продукты удаляются настолько, что дальнейший вклад осколочного излучения в общую дозу проникающей радиации становится ничтожно малым.

Наряду с осколочным излучением существенное значение имеет вторичное гамма-излучение, образующееся при взаимодействии нейтронов с элементами воздуха и грунта. В отличие от осколочного излучения вторичное излучение действует на наземные объекты практически мгновенно.

У боеприпасов обычного типа основную часть вторичного излучения составляют гамма-кванты, образующиеся при захвате нейтронов атомами воздуха, а у боеприпасов нейтронного типа - γ -кванты, образующиеся при неупругом рассеянии нейтронов на ядрах атомов элементов воздуха. Энергия этих гамма-квантов колеблется в пределах от 1,6 до 11 МэВ.

Нейтронная компонента проникающей радиации состоит из мгновенных нейтронов, которые образуются в процессе реакции деления и синтеза и испускаются из зоны реакции в течение менее миллионной доли секунды, и запаздывающих нейтронов, которые образуются в процессе распада осколков деления и испускаются в течение 10-20 с после взрыва. Запаздывающие нейтроны составляют всего лишь около 1 % общего числа, поэтому в связи с их малым количеством при оценке поражающего действия проникающей радиации их эффектом можно пренебречь.

Скорость распространения нейтронов существенно меньше скорости распространения гамма-квантов и зависит от их энергии. От энергии, которой обладают нейтроны, зависят также особенности взаимодействия их с веществом среды, в которой они распространяются.

Максимум энергетического спектра нейтронов деления лежит в области энергий 1 МэВ, средняя энергия – около 2 МэВ. Их распространение в воздухе может достигать 3,5 км. В энергетическом спектре боеприпасов, сконструированных на основе реакции синтеза, определенную долю составляют высокоэнергетические нейтроны с энергией до 14 МэВ. Поэтому нейтроны синтеза в воздухе распространяются дальше (до 5 км), чем нейтроны деления.

В целом, доля быстрых нейтронов при взрыве атомного боеприпаса составляет 50%, а при взрыве термоядерного боеприпаса - 90%.

Расстояния, на которых нейтроны представляют опасность, они проходят за доли секунды. С увеличением расстояния от центра взрыва поток нейтронов

уменьшается вследствие их взаимодействия со средой.

Лишенные электрического заряда, нейтроны не возбуждают и не ионизируют атомы и молекулы. Они беспрепятственно сближаются с оказавшимися на пути ядрами атомов и легко вступают во взаимодействие с ними. Некоторые продукты такого взаимодействия являются заряженными частицами, обладающими весьма выраженными способностями вызывать ионизацию и возбуждение атомов и молекул среды. Поэтому нейтроны относят к косвенно ионизирующим излучениям.

Испускаемые из зоны взрыва нейтроны, распространяясь, испытывают неупругие и упругие взаимодействия с ядрами элементов окружающей среды, например, воздуха, в результате чего их энергия уменьшается, а траектория движения приобретает вид зигзагообразной, ломанной линии. Уменьшение энергии может происходить до величины кинетической энергии теплового движения атомов и молекул среды. Поэтому нейтроны такой энергии и называются тепловыми. Тепловые нейтроны легко поглощаются ядрами атомов и молекул среды.

Поражающее действие нейтронов на личный состав, также как и для гамма-излучения пропорционально дозе. Доза нейтронов во многом зависит от плотности воздуха, поэтому, так же как и для гамма-излучения, летом доза будет больше, чем зимой на одном и том же расстоянии от центра взрыва.

При организации защиты от воздействия нейтронов следует иметь в виду, что из-за их рассеяния в воздухе они приходят к поверхности земли из различных направлений. В частности, около 20 % дозы создается нейтронами, приходящими из противоположной к направлению на взрыв полусферы. Это диктует необходимость экранирования облучаемого объекта при его защите со всех сторон, а не только со стороны взрыва.

И гамма-излучение, и нейтроны ядерного взрыва действуют на любой объект практически одновременно. Тот факт, что гамма-излучение испускается в течение нескольких секунд, а нейтроны в основном в первые секунды, практического значения не имеет. Поэтому поражающее действие проникающей радиации определяется ее суммарной дозой, получаемой в результате сложения доз гамма-излучения и нейтронов.

Биологическое действие ионизирующих излучений, в том числе гамма- и нейтронной проникающей радиации, обусловлено той энергией, которую они отдают тканям и органам.

Особенности течения острой лучевой болезни при гамма-нейтронном облучении с преобладанием нейтронного определяются, прежде всего, значительной неравномерностью облучения по глубине тела человека и более выраженными желудочно-кишечными нарушениями.

Так, вследствие сильного поглощения энергии нейтронов тканями, поглощенная доза очень быстро спадает по глубине тела, перепад её от максимальной на поверхности тела, обращенной в сторону термоядерного взрыва, до минимальной в центре тела или на противоположной от источника излучений стороне может достигать 4-6 раз. В результате доза нейтронов, приходящая на критические органы и ткани - кишечник и костный мозг, из-за сильного по-

глощения толщей тканей тела сравнительно невелика и может составлять всего лишь около 20 % от дозы на поверхности тела.

К числу особенностей острой лучевой болезни при преимущественно нейтронном облучении относятся:

- бурная и более ранняя первичная реакция на облучение, чем при соответствующей степени тяжести острой лучевой болезни, вызванной равномерным гамма- облучением;
- ранняя потеря способности пораженных и активным действиям при высоких дозах облучения;
- более короткий скрытый период, в течение которого уже на 2 - 5 сутки возможно развитие диареи, нередко с примесью крови, и рвоты, как результат очаговых поражений желудочно-кишечного тракта;
- более раннее появление клинических признаков разгара заболевания как правило, с ярко выраженным желудочно-кишечным синдромом (возможно диффузное пропитывание кровью стенок кишечника, кровоизлияния в брызжейку), но меньшая продолжительность этого периода;
- более раннее восстановление гемопоэза, что объясняется сохранением участков неповрежденного костного мозга и, по этой причине, более бурной реакцией кроветворения;
- обширные поражения слизистых оболочек, кожных покровов и даже роговицы глаза с последующим развитием язвенно-некротических изменений, которые нередко служат непосредственной причиной сепсиса и затяжного выздоровления пораженных.

В основе защиты от воздействия проникающей радиации лежит способность различных материалов поглощать гамма-излучения и нейтроны. В принципе любые материалы, в том числе дерево, грунт, бетон и т.д. могут быть использованы для ослабления гамма-излучения и нейтронов. Вместе с тем, следует помнить, что гамма-кванты лучше ослабляются тяжелыми материалами с большой электронной плотностью (свинец, броня), а быстрые нейтроны наоборот, ослабляются легкими материалами (вода, стеклопластик, полиэтилен), у которых масса ядер атомов соизмерима с ними, т.е. близка к единице. Это связано с тем, что нейтроны взаимодействуют не с электронами атомов, а с их ядрами, когда нейтроны теряют большую часть своей энергии.

Закрытые защитные сооружения, которые способны выдержать воздействие ударной волны, как правило, надежно защищают находящийся в них личный состав и от проникающей радиации. Повышение защитных свойств таких фортификационных сооружений, как окопы, траншеи и ходы сообщения в отношении нейтронного потока можно добиться за счет увлажнения грунта.

ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА РАДИОАКТИВНО ЗАРАЖЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Радиоактивное заражение как поражающий фактор ядерного взрыва особенно характерно для взрывов, основанных на реакции деления ядер и произведенных в воздухе у поверхности земли, на поверхности земли, под землей и на водной преграде. Это заражение обусловлено, главным образом, выпадением частиц грунта (при наземных и подземных взрывах) или капель воды (при взрывах на водной преграде), содержащих радиоактивные *ОСКОЛКИ ДЕЛЕНИЯ* ядер урана или плутония. В некоторой степени оно обусловлено эффектом *НАВЕДЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ*, т.е. образованием радиоактивных изотопов в результате воздействия нейтронного потока на ядра различных элементов (воздуха, грунта, предметов), а также выпадением на землю *НЕПРОРЕАГИРОВАВШЕЙ* части заряда боеприпаса, т.е. не разделившихся атомов урана или плутония.

Радиоактивные вещества, появляющиеся в громадном количестве в момент взрыва, перемешиваются с частицами грунта или воды и образуют радиоактивное облако взрыва. Уже примерно через 10 минут после взрыва облако поднимается на максимальную высоту и далее движется по направлению ветра. При этом из него происходит постепенное выпадение радиоактивных частиц на землю. По ходу движения облака формируются его наземный след, который принято разграничивать на зоны заражения.

Выпадающие радиоактивные частицы имеют различные размеры и изотопный состав. На близких расстояниях от эпицентра выпадают крупные частицы, содержащие как короткоживущие (с периодом распада до нескольких суток), так и долгоживущие изотопы практически в полном составе. На дальних от эпицентра взрыва расстояниях выпадают радиоактивные частицы более мелких размеров, содержащие только долгоживущие изотопы.

Процесс выпадения радиоактивных частиц на землю варьирует во времени. Выпадение начинается уже через несколько минут после ядерного взрыва и продолжается до 1-1,5 суток, однако основная масса радиоактивных веществ выпадает примерно за первые 10-12 часов после взрыва. Время начала выпадения на каждый конкретный участок местности зависит от расстояния от места взрыва и скорости ветра. Продолжительность выпадения в каждой точке на месте находится в пределах 1ч. Наибольшее количество радиоактивных веществ выпадает от центра облака по оси радиоактивного следа. С удалением от центра ядерного взрыва и в стороны от оси следа количество выпадающих радиоактивных веществ уменьшается. Длина радиоактивного следа в зависимости от мощности ядерного боеприпаса и других условий может достигать сотен километров.

В районе центра взрыва зараженная радиоактивными веществами территория имеет форму несколько вытянутого в сторону движения ветра круга.

След радиоактивных осадков по пути движения облака имеет обычно форму эллипса (при равномерном ветре), ось которого направлена в сторону движения ветра. Ширина радиоактивного следа, как правило, в 5-10 раз меньше

его длины.

В районе ядерного взрыва наибольшему заражению подвергаются поверхности объектов обращенных на взрыв: у объектов, находящихся на следе облака взрыва, сильнее заражаются горизонтальные поверхности.

Рассматривая поражающее действие радиоактивных продуктов ядерного взрыва на человека целесообразно выделять два периода:

1. *Период формирования следа*, когда происходит выпадение радиоактивных частиц из облака ядерного взрыва,
2. *Период сформировавшегося следа*, когда радиоактивные осадки уже выпали на землю.

Действие продуктов ядерного взрыва в период формирования следа

При цепной реакции деления урана или плутония ядра их делятся на две части с образованием различных радиоактивных изотопов. Эти изотопы в следующем претерпевают в среднем по три радиоактивных распада с испусканием β -частиц и гамма-квантов, превращаясь после этого в нерадиоактивные вещества /барий, свинец/. Таким образом, грибовидное облако содержит около 240 изотопов 36 химических элементов средней части периодической таблицы Менделеева /от цинка до тербия/, соединенных с частицами грунта и воды. Наиболее распространенными изотопами среди осколков являются изотопы иттрия, теллура, цезия, циркония, лантана, молибдена, йода, ксенона, бария, стронция. Выпадая из радиоактивного облака эти изотопы, обладая гамма- и бета- активностью, представляют опасность для человека в период формирования радиоактивного следа, главным образом, в связи с возможным попаданием их на кожные покровы.

Скапливание и задержка значительного количества радиоактивных частиц на кожных покровах вызывает развитие лучевого дерматита различных степеней тяжести.

От воздействия бета- излучения в первую очередь страдают открытые участки тела. Однако, могут поражаться также кожные покровы и под обмундированием /если не были надеты средства защиты кожи изолирующего типа/, т.к. некоторые радиоактивные изотопы, присутствующие в выпадениях, излучают β -частицы высоких энергий /до 2-5 МэВ/. Кроме того, в ряде случаев выпадающие радиоактивные частицы могут попадать в значительных количествах и под обмундирование. Так, скапливаясь у воротника, под манжетами рукавов, в сапогах и других местах, они своим излучением будут вызывать поражение кожных покровов.

Наибольшая дозовая нагрузка на кожные покровы создается в первые часы нахождения радиоактивных изотопов на кожных покровах. Так, на первые 6-8 ч приходится примерно 80% нагрузки от дозы полного распада. Вот почему радиоактивные вещества должны быть удалены с кожи как можно раньше, но не позднее 6-7 ч после заражения, полученного в период формирования следа радиоактивного облака; удаление их в более поздние сроки уже не сможет оказать существенного влияния на степень тяжести поражения кожных покровов.

Возможность поступления продуктов ядерного взрыва внутрь организма с вдыхаемым воздухом в количествах способных вызвать развитие острого лучевого поражения, маловероятна, поскольку частицы малых размеров, способные проникнуть в легкие /диаметром 5 мкм и менее/, выпадают при наземных ядерных взрывах на очень больших расстояниях /порядка тысячи километров/ и поэтому в зоне местных выпадений, как правило, отсутствуют. Более крупные частицы, попавшие в дыхательные пути, в результате деятельности мерцательного эпителия довольно быстро /не позднее 1 ч/ перемещаются в ротовую полость и, как правило, заглатываются. В этом случае они воздействуют своим излучением на стенки желудочно-кишечного тракта, а частично (до 16%) всасываются в кишечнике и распределяются по органам и системам.

Поражение людей вследствие ингаляционного попадания радиоактивных продуктов взрыва внутрь организма, однако, не исключено при подземных ядерных взрывах, когда облако взрыва движется непосредственно над поверхностью земли, а также при подводных взрывах, для которых характерно образование базисной волны, содержащей большее количество мелких, способных проникнуть в легкие, радиоактивных частиц.

В случаях несвоевременного обнаружения выпадения радиоактивных веществ не исключено заражение ими продуктов питания и питьевой воды может вызвать поражение людей в результате внутреннего облучения.

Таким образом, лучевые поражения кожи являются ведущим следствием воздействия продуктов ядерного взрыва на человека в период формирования радиоактивного следа, хотя и не единственным. Кроме того, по мере выпадения радиоактивных частиц из облака взрыва выявляется и постепенно нарастает *дистанционное действие гамма- и бета- излучения*, действующее на человека довольно равномерно со всех сторон. В ряде случаев, например, при слабом ветре, когда время выпадения радиоактивных осадков довольно продолжительно, это дистанционное воздействие в период формирования следа может быть достаточно сильным.

Действие продуктов ядерного взрыва на сформировавшемся следе

Радиоактивные продукты ядерного взрыва после их выпадения на местность оказывают действие на человека своим гамма- и бета- излучением. Излучение, действующее на человека в этих условиях, т.е. на сформировавшемся следе, обозначают как остаточную радиацию, или излучение на радиоактивно зараженной местности.

При пребывании в зонах радиоактивного заражения угрозу представляют:

- дистанционное (внешнее) воздействие гамма- и бета- излучений;
- возможность заражения кожных покровов радиоактивными частицами (при проведении земляных работ, передвижений по местности в пешем строю, на автотранспорте и в боевой технике при сильной запыленности) и связанное с этим контактное действие бета и гамма-излучений на кожные покровы;
- возможность попадания радиоактивных частиц внутрь организма при употреблении в пищу зараженных продуктов питания и воды, а также при не-

соблюдении правил личной и коллективной гигиены (использование грязной посуды, кухонного инвентаря, других предметов обихода, несоблюдение чистоты рук, одежды и др.).

Из всех вышеуказанных, главным поражающим фактором на сформированном следе является дистанционное воздействие ионизирующих излучений, и, прежде всего, гамма-излучения.

Хотя гамма-излучение на радиоактивно зараженной местности отличается несколько меньшей энергией по сравнению с соответствующим излучением в момент взрыва (средняя энергия его примерно 1 МэВ), биологическая эффективность его является примерно в два раза более высокой, что связано со специфической геометрией источников излучений в данном случае. Эта специфика заключается в том, что гамма-излучение на сформированном следе воздействует практически равномерно со всех сторон в силу кругового расположения источников излучения. При этом человек, стоящий на радиоактивно зараженной местности, примерно 50 % дозы излучения получает от источников, расположенных в радиусе 15-20 м., а остальные 50% - от источников, находящихся значительно дальше - в радиусе 150-200м. Круговой характер облучения обуславливает более высокую степень поражения организма излучением, т.к. создается наибольшая не равномерность дозовой нагрузки по глубине тела.

В связи с тем, что выпавшие радиоактивные частицы находятся на поверхности земли, более сильному излучению подвергаются ноги и нижняя часть тела человека. Так, мощность дозы гамма-излучения на высоте 1,5-2 м. от поверхности земли примерно в 2 раза меньше, чем на высоте 0,1 м. Более интенсивное облучение нижней части тела, особенно таза, приводит к усилению поражающего эффекта, т.к. здесь находится большая масса /до 50%/ костного мозга.

Другой особенностью действия гамма-излучения на сформированном следе является довольно быстрое изменение мощности дозы, что связано с распадом радиоактивных веществ. Особенно быстрый спад наблюдается в первые часы после выпадения осадков за счет превращения короткоживущих изотопов в нерадиоактивные стабильные вещества. В итоге остаются вещества с длительным периодом полураспада и скорость снижения мощности дозы излучения существенно снижается. Это снижение происходит по, так называемому, "правилу семерки": при семикратном увеличении времени, прошедшем после взрыва, мощность дозы излучения снижается в 10 раз. Так, через 7ч после взрыва мощность дозы излучения снижается в 10 раз по сравнению с той, которая наблюдалась спустя 1 час после взрыва; через 49ч (7·7ч.) - в 100 раз и через 2 недели (7·7·7ч.) - в 1000 раз.

Снижение мощности дозы, а также изменение геометрической характеристики источников излучения на сформированном следе происходит по времени еще и в связи с тем, что через несколько недель выпавшие радиоактивные частицы уходят в глубь почвы. Создается заражение верхнего слоя почвы глубиной в несколько сантиметров. На таком "постаревшем" следе не только значительно снижается мощность излучения, но и существенно уменьшается радиус площади, с которой на человека воздействует гамма-излучение. Так, в

этом случае на высоте 1 м над поверхностью земли 90% дозы набирается с участка, ограниченного радиусом 15-20 м., а на высоте 25 м. - с участка радиусом 100м.

По степени радиоактивного заражения местности выделяют следующие зоны: радиационной опасности (зона М), умеренного загрязнения (зона А), сильного загрязнения (зона Б), опасного загрязнения (зона В) и чрезвычайно опасного загрязнения (зона Г) (*И.В. Воронцов и др., 1995*).

В зоне радиационной опасности (зона М) мощность дозы гамма-излучения составляет 14–140 мР/ч. Аварийные работы персонала возможны под дозиметрическим контролем, с респираторами, йодной профилактикой, санитарной обработкой и дезактивацией обмундирования и техники. При пребывании в течение года на данной местности поглощенная доза составит 5–50 рад.

В зоне умеренного загрязнения (зона А) годовая поглощенная доза составит 50–500 рад при исходной мощности на местности — 140–1400 мР/ч. На открытой местности персонал может получить дозы, выводящие его из строя. За 1 сут облучение может составить 3—30 рад, за 1 месяц в среднем 50 рад. Предельно допустимая для профессионалов при работе в аварийных ситуациях доза составляет 20 рад и не более 1 рад в сутки.

В зоне сильного загрязнения (зона Б) мощность дозы на местности равна 1,4–4,2 рад/ч, поглощенная доза за год — 500–1500 рад. За 12 ч на открытой местности поглощенная доза достигает 50 рад, пребывание на ней в течение 10 сут увеличивает дозу до 150 рад и за 1 месяц более 250 рад.

В зоне опасного загрязнения (зона В) годовая доза составит 1500–5000 рад при исходной мощности дозы 4,2–14 рад/час. За 5 ч пребывания на открытой местности доза облучения достигает 50 рад, за 1 сут 100 рад, за 10 сут — 450 рад и за 1 месяц — 5000 рад.

В зоне чрезвычайно опасного загрязнения (зона Г) годовая доза — 5000–9000 рад при исходной мощности дозы более 14 рад/час. За 1 ч поглощенная доза составляет 50 рад, за сутки — более 300 рад. Находиться на ней можно только через несколько суток.

Дистанционное воздействие на человека бета-излучения выражено значительно слабее, чем гамма-излучения.

Поток бета-частиц ослабляется воздухом и особенно одеждой. Например, если этот поток на высоте 10 см. над поверхностью земли принять за единицу, то на высоте ладоней рук, опущенных вдоль тела, он будет слабее в 10 раз, а на высоте головы - более, чем в 100 раз.

Однако, в первые 3-е суток после взрыва поражение кожных покровов на сформировавшемся следе вследствие дистанционного воздействия бета-излучения (сочетающееся с воздействием гамма-излучения) вполне возможно, особенно от близко расположенных зараженных предметов. Это связано с тем, что энергия бета-частиц значительного числа выпавших на землю изотопов (цезия-138, теллура-133, иттрия-92, -93, -95, празеодима-146, циркония-97, рубидия-88, йода-134 и др.) велика и достигает 2-5 МэВ.

Максимальный пробег таких частиц в воздухе может достигать 20 м., а в мягких тканях человека - до 3 см. Для задержания таких высокоэнергетических

бета -частиц такими материалами, как стекло, алюминий, резина, необходима толщина защитного экрана не менее 1 см.

Обмундирование, состоящее из пористого материала, обладающего значительно меньшей защитой способностью, не обеспечивает полной защиты кожных покровов человека. Вследствие этого, бета- излучение может дистанционно воздействовать не только на открытые участки тела, но и на кожу, находящуюся под обмундированием.

Попадание радиоактивных частиц на кожные покровы в период сформировавшегося следа так же, как и в период формирования следа, является опасным, вследствие возможного возникновения лучевых поражений кожи.

В ранние сроки после выпадения радиоактивных осадков, когда доза бета-излучения кожных покровов формируется быстро в связи с высокой скоростью распада молодых продуктов деления ядер, поражения кожи могут даже превалировать над другими видами радиационных поражений. Так, поражающая доза бета-излучения кожи (3 Гр и более) может быть получена людьми, находящимися на сформировавшемся следе, еще тогда, когда доза общего гамма- облучения еще не достигла поражающих величин.

Определенную опасность при пребывании на сформировавшемся следе представляет возможность поражения людей вследствие попадания радиоактивных веществ внутрь организма через желудочно-кишечный тракт, легкие, раневые и ожоговые поверхности и даже неповрежденную кожу. В принципе попадание радиоактивных веществ внутрь даже в очень небольших количествах очень опасно, поскольку в этом случае организм подвергается длительному облучению. Ослабляется это облучение только в результате распада радиоактивного вещества или его выведения из организма. Следует также учитывать то обстоятельство, что некоторые радиоактивные изотопы являются родственными для организма химическими элементами; включаясь в обменные процессы, они могут избирательно накапливаться в определенных органах и тканях и воздействовать на них своим излучением.

При попадании в желудочно-кишечный тракт с водой, пищей или в результате заглатывания со слюной радиоактивных частиц, отторгнутого мерцательным эпителием из верхних дыхательных путей, большая часть продуктов деления почти не подвергается всасыванию, вследствие малой растворимости радиоактивных веществ, сорбированных на частицах грунта, в воде и в жидкостях организма (всасывается не более 7% смеси изотопов, образующихся при ядерном взрыве). Тем не менее, желудочно-кишечный тракт при внутреннем радиоактивном заражении всегда существенно страдает, поскольку при прохождении через него радиоактивных веществ с пищевыми массами происходит значительное облучение его стенок. Однако, некоторые изотопы – йод-131, цезий-137, стронций-89, -90, ниобий-95, барий-140, теллур-133, -134 всасываются из желудочно-кишечного тракта довольно хорошо (60-100 %) и поэтому представляют опасность также с точки зрения попадания внутрь организма. Биологическую опасность всосавшихся изотопов принято определять периодом их половинной эффективности. Последний представляет собой время, в течение которого действие излучения данного изотопа на организм снижается вдвое, в

результате радиоактивного распада изотопа и его биологического выведения. Величину периода половинной эффективности можно определить по формуле:

$$T_{эфф} = \frac{T_{физ} \cdot T_{биол}}{T_{физ} + T_{биол}}$$

где: $T_{физ}$.- период полураспада,

$T_{биол}$.- период биологического полувыведения из организма.

Чем больше величина $T_{эфф}$., тем опаснее в биологическом отношении радиоактивный изотоп. К числу таких продуктов ядерного распада относится йод-131 ($T_{эфф}$.=7,5 сут.), стронций-89 ($T_{эфф}$.=52 сут), стронций-90 ($T_{эфф}$.=7 лет), иттрий-90 ($T_{эфф}$.=7 лет).

В принципе потенциально наиболее высокую опасность представляют изотопы с коротким периодом полураспада и относительно длительным периодом биологического полувыведения. Изотоп с коротким периодом полураспада испускает более интенсивное излучение. Вследствие этого при попадании в организм "молодых" продуктов ядерного взрыва доза облучения в единицу времени будет больше, чем при попадании продуктов более "старого" возраста. Однако, на практике оказывается, что радиотоксичность "молодых" продуктов деления меньше, чем "старых".

Это связано с тем, что среди "молодых" продуктов значительную долю составляют изотопы, которые быстро переходят в стабильное состояние.

Среди радионуклидов выброса наибольшее значение в первую неделю после взрыва представляют изотопы радиоактивного йода — I-120-139, а среди них йод-131, йод-132 и йод-133. Наиболее долгоживущий из них I-131. Они являются α -, γ -излучателями и составляют до 22,9 % общей активности продуктов деления, для I-131 — до 2,7-3,9 %. Радиойод может находиться в аэрозольной или газообразной форме. В виде газа выделены 2 компонента — I_2 и CH_3I . Газообразные продукты радиойода не улавливаются волокнистыми фильтрующими материалами (респиратор «Лепесток», противогаз). Молекулярный йод хорошо улавливается активированным углем. Органический радиойод относится к трудно улавливаемым компонентам.

Соотношение аэрозольного и газообразного йода колеблется от 2:1 до 1:10. В газообразной форме 25 % приходится на молекулярный йод, 75 % - на органический. Молекулярный йод хорошо оседает, органический - в 100 раз более летуч. В первые сутки аварийного выброса преобладает аэрозольная форма йода, в дальнейшем в течение 2 недель начинает преобладать газообразная молекулярная форма и позже она уступает появившемуся органическому йоду. Необходимо учитывать, что доза за счет ингаляции I-131 в виде газообразной формы может превышать аэрозольную часть в 5 раз.

Физический период полураспада йода-131 соответствует 8,1 сут. Он определяется в крови после его ингаляции в течение суток. При ингаляции 50%

радиоактивного йода откладывается в верхних дыхательных путях, в бронхах - до 15 %, в легких - 30–40 %. Вместе со слизистыми выделениями, мокротой, радионуклиды выводятся из трахеобронхиального дерева и в большинстве случаев до 30 % радионуклидов заглатываются и поступают в желудочно-кишечный тракт, где они практически (90 %) полностью всасываются. I-131 также хорошо проникает, особенно в газообразной форме, через неповрежденную кожу (до 5 %).

Через сутки до 30–60 % поступившего в организм йода фиксируется в щитовидной железе. Время биологического полувыведения йода из щитовидной железы до 120 сут. С учетом срока физического полураспада йода-131 и биологического периода полувыведения из организма, скорость снижения его активности (эффективный период полувыведения) в среднем составляет 7,6 дней. В организме постоянно находится около 25 мг стабильного йода, 15 мг - в щитовидной железе. Суточная потребность человека в йоде 100–200 мкг.

Радиоактивные газы при ингаляции человеком длительно не фиксируются в тканях организма и быстро, за 30 с., выводятся через органы дыхания. Благородные газы лучше растворяются в липидах, поэтому они могут накапливаться в организме в течение 4–5 ч при постоянной их ингаляции. По этой же причине время их выведения из жировой ткани человека затягивается на несколько часов (для Kr — 1,8–3,7 ч и Xe до 6 ч). Они опасны для человека, если в условиях аварии он находится непосредственно в загрязненной радионуклидами атмосфере в замкнутом пространстве или в потоке движения факела радиоактивного выброса.

Вторым по уровню выброса и первым по опасности спустя неделю после аварии за радиоактивным йодом идет цезий-134,137 (также бета-, гамма-излучатель). Физический период полураспада цезия-137 - 30 лет. Изотопы цезия при любом пути поступления хорошо проникают в организм. Из ЖКТ он всасывается полностью.

К числу продуктов деления, обладающих сравнительно коротким периодом полураспада и в то же время большим периодом биологического полувыведения, относится йод-131. Поэтому, если этот изотоп попадает в организм даже в небольшом количестве, то, отложившийся в щитовидной железе, он сильно повреждает её своим излучением.

Изотопы стронция и бария откладываются в костях. Испускаемые ими гамма- и бета-излучения повреждают костный мозг и индуцируют образование опухолей. Некоторое количество этих изотопов задерживается в печени и селезенке, воздействуя своим излучением на органы. Цезий-137, являясь основной частью активности частиц, оседающих на землю, спустя год и даже после ядерного взрыва, концентрируется, главным образом, в мышцах, однако испускаемое им гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и воздействует практически на весь организм. Ввиду большого периода полураспада (30 лет) и большого периода полувыведения (140 сут) этот изотоп представляет значительную опасность для человека ($T_{эфф.} = 138$ сут).

Вероятность попадания радиоактивных веществ внутрь организма через легкие относительно невелика, т.к. альвеол достигают частицы размером менее

5 мкм, количество которых на следе радиоактивного облака ничтожно мало. Теоретически то количество радиоактивных веществ, которое может вызвать острую лучевую болезнь легкой степени, может попасть в организм через органы дыхания при условии пребывания человека на местности с высокими мощностями дозы в течение не менее суток.

Способность радиоактивных продуктов ядерного распада к проникновению в организм через кожные покровы очень невелика (десятые и сотые доли процента от попавшего количества). Загрязнение радиоактивной пылью ожоговых и раневых поверхностей намного более опасно. Установлено, что с ожоговой поверхности (при буллезной форме поражения кожи) всасывание радиоактивных веществ в десятки и сотни раз выше, чем происходит их проникновение через не поврежденную кожу, поскольку раневое отделяемое способствует повышению растворимости соединений, в которых находятся радиоактивные изотопы.

Таким путем в организм человека могут попасть даже такие практически растворимые изотопы, как цезий, празеодим и другие изотопы редкоземельных элементов, количество которых в составе радиоактивных продуктов ядерного распада.

При попадании внутрь организма большого количества радиоактивных веществ развивается лучевое поражение, сходное по клинической картине с острой лучевой болезнью от внешнего γ -облучения, но имеющее некоторые особенности: стертую первичную реакцию, более замедленное развитие и течение заболевания, наличие местных поражений, связанных с воздействием больших доз в местах депонирования радиоактивных веществ. В остром периоде в картине заболевания могут превалировать симптомы поражения желудочно-кишечного тракта /при пероральном поступлении/ или органов дыхания /при ингаляционном поступлении/. В последующем, по мере накопления радиоактивных веществ в местах депонирования, начинают появляться симптомы поражения соответствующих органов и тканей. По способности накапливать радиоактивные продукты ядерного деления органы и ткани можно расположить в следующем порядке: Щитовидная железа (до 30% всосавшихся радиоактивных изотопов), печень (до 15%), кости скелета (около 10%), мышцы менее 10%, лимфатические узлы (до 5%).

В соответствии с вышеуказанными особенностями степень тяжести лучевого поражения, развивавшегося в результате внутреннего облучения определяется не только количеством попавших внутрь организма радиоактивных веществ (т.е. дозой внутреннего облучения), но и путем их проникновения в организм, особенностями распределения изотопов в организме, а также особенностями их выведения.

Оценивая степень воздействия продуктов ядерного взрыва на сформировавшемся следе, следует иметь в виду, что радиоактивные частицы, выпавшие из облака ядерного взрыва, в первые 3-е суток содержат максимальный набор радиоактивных изотопов /до 30/, в том числе большое количество короткоживущих. В более поздние сроки, вследствие распада и перехода значительного числа короткоживущих изотопов в стабильное состояние, набор радиоактивных

веществ в смеси уменьшается и на первый план в качестве поражающего фактора постепенно начинают выходить долгоживущие изотопы. Так через 1 год после взрыва в выпавших на землю радиоактивных частицах такими изотопами будут цирконий-95, ниобий-95, а через 3 года и более - цезий-137 и барий-137.

В целом считается, что при нахождении на следе радиоактивного облака, дозы, полученные за счет поступления продуктов ядерного взрыва внутрь организма, не превышают 10% от дозы внешнего гамма-излучения на все тело. Этим и объясняется довольно невысокая степень значения этого радиационного фактора на сформировавшемся следе.

Действие не прореагировавшей части ядерного заряда

Не прореагировавшая часть ядерного заряда представляет собой не разделившиеся атомы урана или плутония. Дело в том, что коэффициент полезного использования ядерного заряда весьма невысок (не более 10%), поэтому большая часть атомов урана или плутония не успевают подвергнуться делению. Силой взрыва не прореагировавшая часть распыляется на мельчайшие частицы и затем оседает на землю в виде осадков из грибовидного облака. Радиоактивные изотопы этих элементов характеризуются в основном альфа-излучением и поэтому представляют значительную опасность только при попадании внутрь организма (*Тэфф.* плутония - $3 \times 10^{+4}$ – $7,2 \times 10^{+4}$ сут, *Тэфф.* урана - 300 сут.). Попадая в организм, они депонируются в основном в костях и своим излучением могут вызвать тяжелые поражения вплоть до некроза тканей. Однако, вследствие небольшой общей массы не прореагировавшей части ядерного заряда и распределения её на значительной территории, действие этого радиационного фактора большого практического значения не имеет.

Действие наведенной активности

В течение относительно короткого периода после ядерного взрыва человек может подвергаться воздействию гамма- и бета-излучения, вызванного наведенной активностью химических элементов, входящих в состав грунта и окружающих предметов. Это наблюдается на территории, которая находится в радиусе действия нейтронного излучения взрыва /до 800-1000м./. В первое время наведенная активность может достигать десятков и даже сотен рентген в час, но затем она быстро, в пределах 1 часа, спадает практически до безопасных величин. Это связано с тем, что образующиеся при воздействии нейтронов радиоактивные изотопы характеризуются очень короткими периодами полураспада.

В излучении, исходящем от поверхности земли, в первые минуты после взрыва преобладает гамма-излучение алюминия-28 /период полураспада - 2,3 мин/; по прошествии нескольких часов основная активность уже связана с распадом марганца-56 /период полураспада - 14,8 ч/; спустя одни сутки - натрия-24; через 10 суток - железа-59 /период полураспада - 45,5 сут/, а ещё позже - ко-

бальта-60 /период полураспада - 5,3 года/.

Наведенную активность в воде определяют главным образом содержащиеся в ней соли натрия и калия. Чем больше их содержится в воде, тем выше будет её радиоактивность, вот почему наведенная радиоактивность морской воды намного выше, чем речной. Большой наведенной активностью характеризуется цемент, в котором в значительных количествах содержится кремний, алюминий, железо и кальций. Наведенная радиоактивность в грунте образуется не только в поверхностном слое, но и на некоторой его глубине /до 10-15 см./. В продуктах питания наведенная активность обычно невысока, за исключением тех, которые содержат большое количество поваренной соли. В теле человека наведенная активность обусловлена в основном появлением изотопов натрия-24, калия-42 и фосфора-32. Таким образом, на следе облака ядерного взрыва наведенная радиоактивность играет сравнительно небольшую роль, т.к. во-первых, она имеет место на незначительной по размерам территории и, во-вторых, действует в течение относительно короткого промежутка времени, поскольку образующиеся изотопы имеют короткие периоды полураспада.

Относительное значение радиационных факторов, действующих на следе радиоактивного облака

Итак, пребывание на следе радиоактивного облака представляет опасность для человека в связи с возможностью общего гамма-излучения, поражения кожных покровов бета-излучением и внутреннего заражения радиоактивными веществами. Наибольшее число поражений следует ожидать от воздействия гамма-излучения, меньшее - от воздействия бета-излучения и ещё меньшее - от попадания радиоактивных веществ внутрь организма. Таким образом, основным поражающим фактором, определяющим выход личного состава из строя, при нахождении его на местности, зараженной радиоактивными веществами, является, внешнее гамма-облучение. Тем более, что поражение кожных покровов бета-излучением легко избежать при своевременном проведении мероприятий по предупреждению и ликвидации заражения личного состава продуктами ядерного взрыва, а попадание радиоактивных веществ внутрь организма становится весьма маловероятным при строгом соблюдении личным составом правил радиационной безопасности.

Использование дозиметрических приборов, умение оценить сложившуюся радиационную обстановку и принять правильное решение позволяют значительно снизить возможные потери личного состава при его действиях на зараженной радиоактивными веществами местности. Однако, при общих больших масштабах радиоактивного заражения местности любая даже незначительная на первый взгляд ошибка в организации радиационной разведки и оценке радиационной обстановки может привести к появлению большого числа пораженных ионизирующим излучением.

МЕДИКО-ТАКТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЧАГОВ ЯДЕРНОГО ПОРАЖЕНИЯ

Очагом ядерного поражения называется территория, на которой под воздействием поражающих факторов ядерного взрыва возникают разрушения различных сооружений, радиоактивное заражение местности и поражения личного состава.

Размеры очага зависят от мощности примененного боеприпаса, вида взрыва, рельефа местности и погодных условий. Очаг не имеет ярко выраженных контуров и характеризуется массовыми разрушениями сооружений, техники, зданий, завалами на больших площадях, повреждениями и разрушениями защитных фортификационных сооружений, пожарами на большей части территории и значительными санитарными потерями.

Размеры и структура санитарных потерь в очаге ядерного поражения чрезвычайно изменчивы и зависят от ряда факторов: количества и калибра боеприпасов, способа их применения, вида взрывов, степени инженерного оборудования местности, обученности войск мерам защиты, вида боевой деятельности войск и т.д. Однако санитарные потери в очаге ядерного поражения всегда будут массовыми и разнообразной структуры.

На структуру санитарных потерь влияет, прежде всего, мощность взрыва. При сверхмалой и малой мощности наибольшим радиусом поражающего действия обладает проникающая радиация, поэтому преобладающее место в структуре потерь займут радиационные поражения в чистом виде или в сочетаниях с термическими ожогами. По мере возрастания мощности взрыва радиусы поражений ударной волной и световым излучением увеличиваются в значительно меньшей степени, чем радиус поражений проникающей радиацией, поэтому и структура санитарных потерь изменяется: ведущее место занимают термические ожоги и травмы.

Структура санитарных потерь неодинакова также при взрывах, произведенных на различной высоте (воздушный, наземный). При воздушном взрыве при прочих равных условиях более значителен процент ожогов, а при наземном - травматических повреждений. Кроме того, при воздушных ядерных взрывах потери возникнут практически одновременно в пределах границ территории очага ядерного поражения. При наземных взрывах они будут возникать не только в районе взрыва, но и на территории следа радиоактивного облака. В этом случае их формирование будет иметь волнообразный характер: одномоментно на территории в районе взрыва и через определенный промежуток времени /2-3 недели/ среди личного состава на территории следа радиоактивного облака.

Непосредственно в районе ядерного взрыва основная масса санитарных потерь будет представлена поражениями хирургического профиля /за исключением взрывов сверхмалой и малой мощности/, при этом будут преобладать комбинированные поражения - травмы, ожоги и лучевая болезнь в различных сочетаниях, являющиеся характерным признаком ядерного очага. На следе радиоактивного облака будут преобладать радиационные поражения, т.е. пора-

жения терапевтического профиля. Кроме того, известное место среди санитарных потерь займут поражения психоневрологического профиля (острые реактивные состояния могут наблюдаться у 70% лиц, попавших в район ядерного взрыва).

Защитные свойства инженерных сооружений и техники неодинаковы по отношению к различным поражающим факторам. Легче всего, очевидно, достигнуть защиты от прямого действия светового излучения, труднее - от проникающей радиации. Естественно, что различия в защитных свойствах сооружений и техники влекут за собой определенные особенности в структуре потерь личного состава, расположенного в них. Снижается доля пораженных с ожогами и возрастает доля пораженных с механической травмой. Среди пораженных терапевтического профиля вероятно преобладание пораженных с лучевой патологией и отравлением окисью углерода. Структура потерь зависит от расположения пострадавших подразделений по отношению к центру взрыва. В подразделениях, находящихся на периферии очага, поражения будут в основном легкими, в то время, как на местности, расположенной ближе к центру /или эпицентру/ взрыва будут наблюдаться преимущественно тяжелые комбинированные поражения.

Поскольку в медико-тактической характеристике очагов ядерного поражения определяющим является величина, характер и структура санитарных потерь принято выделять три типа ядерных очагов:

1. Очаг с преимущественными радиационными поражениями.
2. Очаг с комбинированными поражениями.
3. Очаг с преимущественными термическими поражениями.

Очаги с преимущественно радиационными поражениями формируются при взрывах атомных или нейтронных боеприпасов малого и сверхмалого калибров. По взглядам вероятного противника такие боеприпасы целесообразно использовать на направлении главного удара в полосе непосредственного соприкосновения; при этом преимущественный вид взрыва - воздушный. Такие очаги характеризуются тем, что при незначительных поражениях и повреждениях техники и сооружений наблюдаются массовые поражения личного состава проникающей радиацией. Комбинированные поражения практически отсутствуют, т. к. зоны поражения ударной волной и световым излучением перекрываются зоной смертельных поражений от проникающей радиации. Поэтому в структуре санитарных потерь преобладают чисто радиационные поражения, т.е. потери преимущественно терапевтического профиля. При этом очень высока доля крайне тяжелых форм лучевой болезни /церебральная, кишечная, токсемическая/, характеризующихся быстрым и практически одномоментным выходом пораженных из строя, в то время как доля поражений средней и легкой степени тяжести, когда выход пораженных из строя отсрочен от момента воздействия проникающей радиации на несколько часов, сравнительно мала. Радиоактивное заражение местности в таких очагах практически отсутствует поэтому нет необходимости в использовании средств индивидуальной защиты, в проведении специальной обработки.

Очаги поражения, вызванные нейтронными боеприпасами по сравнению с

очагами, вызванными атомными боеприпасами той же мощности, отличаются значительным увеличением радиуса действия проникающей радиации, а также тем, что на одних и тех же расстояниях от эпицентра взрыва на личный состав действуют значительно большие дозы излучения. Так, при взрыве нейтронного боеприпаса мощностью 1 кт на расстоянии 500 м от эпицентра, где доза излучения достигает 60000-120000 рад, отмечается немедленная смерть "под лучом"; на расстоянии 700 м от эпицентра, где доза излучения порядка 16000 рад, происходит немедленная и полная потеря незащищенным человеком способности к физической и умственной деятельности и предсмертная агония длится 1-2 дня; при дозе облучения 8000 рад /760 м от эпицентра /личный состав теряет боеспособность через несколько минут после взрыва, а смертельный исход наступает через 2-6 суток; облучение в дозе 650 рад /1200 м от эпицентра/ приводит к тяжелым функциональным нарушениям в организме человека примерно через 1 час после взрыва, в то время как гибель пораженных наступает спустя 2-3 недели после облучения; облучение в дозе 450 рад наблюдается на расстоянии 1450 м от эпицентра и вызывает острую лучевую болезнь тяжелой степени; облучение в дозе 200 рад, вызывающее среднюю степень тяжести лучевой болезни, отмечается на расстоянии 1550 м; облучение в дозе 100 рад /1650 м от эпицентра/ вызывает острую лучевую болезнь легкой степени тяжести; при дозах облучения 20 рад /2000 м от эпицентра/ - 15 рад /2300 м от эпицентра/, хотя лучевая болезнь не развивается, в последствии вероятно возникновение злокачественных опухолей, лейкемии, а также передача облученными генетических дефектов на несколько поколений потомков. В то же время, при взрыве атомного боеприпаса мощностью 1 кт на расстоянии 500 м от эпицентра доза облучения составляет всего 600 рад, на расстоянии 1000 м - 100 рад и на расстоянии 1400 м - 20 рад.

Поражающий эффект от проникающей радиации при взрыве нейтронного боеприпаса мощностью 1 кт. практически эквивалентен поражающему действию проникающей радиации при взрыве атомного боеприпаса мощностью 10 кт.

Таблица 4

Дальность поражающего действия атомного и нейтронного боеприпаса, м.

Поражающее действие	Атомный боеприпас, 10 кт	Нейтронный боеприпас, 1 кт
Доза проникающей радиации		
80000 рад	760	760
30000 рад	910	910
650 рад	1200	1200
Действие ударной волны:		
тяжелые повреждения военной техники	370	170
тяжелые повреждения зданий	910	430
средние повреждения	1200	550

зданий		
Световое /тепловое/ излучение		
лесные пожары	1400	340

Очаги с комбинированными поражениями формируются, в основном, при взрывах ядерных боеприпасов среднего калибра. По взглядам вероятного противника такие боеприпасы наиболее целесообразно применять по резервам и тылам дивизионного звена.

Наиболее частыми и типичными будут являться одновременные, возникающие в момент ядерного взрыва, комбинации острых лучевых поражений с ожогами и механическими травмами: комбинированные радиационно-термические, радиационно-механические, радиационно-механо-термические поражения и механо-термические.

В зависимости от ведущего поражения, под которыми понимается такое, которое может в кратчайший, по сравнению с другими поражениями, срок привести к наиболее неблагоприятному исходу и поэтому требуют первоочередной медицинской помощи, более сложного и длительного лечения, очаги с комбинированными поражениями принято подразделять на два подтипа:

- преимущественно с радиационными поражениями, когда доля "чистой" формы лучевой болезни в структуре санитарных потерь в пределах 40-70%, а в структуре комбинированных поражений ведущим является лучевое поражение; преимущественный вид взрыва при этом - воздушный;
- преимущественно с механо-термическими поражениями, когда доля ожогов в структуре санитарных потерь достигает 50-70%, а в структуре комбинированных поражений ведущими являются травмы и ожоги; при этом преимущественные виды взрывов - наземные и подземные, поэтому в таких очагах имеет место радиоактивное заражение местности, что приводит к необходимости использования средств индивидуальной защиты при нахождении в очаге и проведению специальной обработки после выхода из него.

Вне зависимости от подтипа, очаг с комбинированными поражениями характеризуется довольно значительными разрушениями техники, вооружения и сооружений, а также массовыми и, как правило, практически одномоментно со взрывом возникающими санитарными потерями, в структуре которых весьма значительна доля комбинированных поражений.

При комбинированных поражениях, в отличие от изолированных, развиваются патологические состояния, особенностями которых является взаимосвязь и взаимообусловленность общих и местных изменений лучевой и нелучевой природы. При комбинации поражений легкой степени это обычно ещё не очень явно выражено. Однако при комбинациях тяжелых поражений эффект отягощения патологических процессов, вызываемых как ионизирующими излучениями, так и нелучевыми факторами, проявляется в полной мере.

Так, при тяжелых ожогах эффект отягощения обнаруживается не только в обожженных и близлежащих тканях, но и во внутренних органах /в сердце, печени, селезенке, почках/. Этот эффект достигается также за счет синергизма различных по происхождению, но одинаковых по своим последствиям рас-

стройств обмена веществ. Взаимно усиливается действие радиотоксинов и токсинов ожоговой природы.

Характерные для острого лучевого поражения расстройства сердечно-сосудистой системы усиливаются гемодинамическими нарушениями, вызванными ожогами и травмами. На фоне ослабления защитных сил организма, причиной которого являются и облучение, и нелучевые поражения, ускоряются не только развитие раневой и ожоговой инфекции, но также увеличивается вероятность аутоинфицирования. Постлучевая анемия становится особенно выраженной и длительной, если ей предшествовала травматическая кровопотеря. Результатом совместного воздействия радиации, ожога и травмы является не только вовлечение большего числа систем организма в патологический процесс, но и увеличение степени тяжести повреждения каждой из них.

Особенности патогенеза различных видов комбинированных поражений зависит не только от числа и видов компонентов, составляющих поражение, но и от тяжести каждого из них. При легких ожогах или травмах и тяжелых радиационных поражениях клиника определяется в основном лучевой патологией. При тяжелых нелучевых поражениях и лучевом воздействии легких степеней клиника, течение и прогноз поражения практически не отличаются от обычной картины развития ожоговой болезни или механической травмы.

Если же оба вида воздействия достаточно выражены и вызывают развитие поражений не ниже средней степени тяжести, то характерной чертой патогенеза комбинированного поражения становится синдром взаимного отягощения, для которого характерно более тяжелое течение каждого из компонентов и всего поражения в целом. В таких случаях чаще возникает травматический и ожоговый шок. Его течение отличается удлиненной эректильной и более тяжелой, чаще необратимой, торпидной фазами. Синдромы лучевого поражения под влиянием нелучевых воздействий возникают на несколько суток раньше и отличаются большей выраженностью клинических проявлений, чем при острых лучевых поражениях, вызванных изолированным воздействием ионизирующих излучений в той же дозе. В целом клиническая картина комбинированных, радиационных поражений в отличие от классических форм острой лучевой болезни характеризуется:

- совокупностью симптомов и синдромов, свойственных не только лучевой патологии, но и ожогам, закрытым и открытым переломами механическим повреждениям, огнестрельным ранам и т.п.;
- отсутствием скрытого периода;
- периодическим преобладанием клинических признаков одного из составляющих видов поражения;
- проявлением синдрома взаимного отягощения поражений;
- более тяжелым, длительным и осложненным течением;

При этом в клиническом течении комбинированных радиационных поражений выделяют следующие периоды:

1. Острый период или период первичных реакций на облучение и нелучевые воздействия.
2. Период преобладания симптоматики нелучевых поражений.

3. Период преобладания симптоматики лучевого поражения.

4. Период восстановления.

Если в случае изолированных поражений ионизирующими излучениями при использовании всех современных средств лечения верхняя граница диапазона доз, когда еще возможен благоприятный исход, находится около 6 Гр., то при комбинированных радиационных поражениях она снижается: при нелучевых травмах или ожогах легкой степени - до 5 Гр., средней степени тяжести - до 4 Гр. и тяжелых - до 2 Гр.

Помимо вышперечисленных, при наземных и подземных взрывах часть санитарных потерь возникает в результате поражений личного состава вследствие пребывания на местности, зараженной радиоактивными веществами. Эти потери характеризуются отсутствием массовости и наличием большого разнообразия в симптомах лучевых поражений и сроках выхода личного состава из строя.

Очаги с преимущественно термическими поражениями формируются при взрывах крупных и сверхкрупных ядерных боеприпасов. По взглядам вероятного противника такие боеприпасы наиболее целесообразно применять по тылам и резервам армии и фронта.

Такие очаги характеризуются значительными разрушениями техники, вооружения и сооружений, большими по площади участками пожаров, значительными по масштабам и степени радиоактивным заражением местности. В структуре санитарных потерь резко преобладают термические поражения (97-95%), т.к. радиус действия светового излучения намного перекрывает радиус действия других поражающих факторов. Большая часть санитарных потерь возникает вскоре после взрыва, меньшая часть /за счет пребывания на зараженной радиоактивными веществами местности, при действиях в зонах пожаров/ - в более позднее время. В числе отсроченных санитарных потерь отмечаются и лучевые поражения кожи. При дозе бета-облучения в 5 Гр. возникает реакция, проявляющаяся временным выпадением волос и шелушением кожи с последующей небольшой пигментацией, исчезающей через 3 месяца. При облучении в дозах 8-12 Гр. /поражение I степени/ развивается эритематозный дерматит /через 15-20 суток после облучения/, разрешающийся к 30-м суткам. Облучение в диапазоне доз от 12 до 20 Гр. /поражение II степени/ вызывает развитие буллезной формы поражения на 10-15 день после облучения с последующей эпителизацией эрозий через 1-1,5 месяца. При воздействии облучения в дозах 20-25 Гр. /поражение III степени/ на 7-10 день после облучения развивается язвенный дерматит, заживающий очень медленно /через 2-4 мес./ через рубцевание эрозий и язв. При облучении в дозах более 25 Гр. поражение IV степени/ быстро развивается отёк кожи и появляются очаги некроза, распространяющиеся на подкожную клетчатку, нередко развиваются гнойно-септические осложнения, а заживление рубцеванием возможно не ранее 6-12 месяцев после облучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, очаги, возникающие в результате применения ядерного и радиологического оружия отличаются большим разнообразием и спецификой действия поражающих факторов на силы армии и флота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куценко С.А., Бутомо Н.В., Гребенюк А.Н. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита: Учебник / Под редакцией С.А.Куценко.- СПб: ООО «Издательство Фолиант», 2004.- 528с. (+ электронный вариант).
2. Бутомо Н.В., Гребенюк А.Н., Легеза В.И., Малаховский В.Н., Ушаков И.Б. Основы медицинской радиобиологии / Под ред. И.Б. Ушакова. - СПб: ООО «Издательство Фолиант», 2004.- 384с. (+ электронный вариант).
3. Васин М.В. Средства профилактики и лечения лучевых поражений / РМАПО МЗ РФ; ГосНИИИ ВМ МО РФ. – М., 2006. – 340 с.
4. Указания по военной токсикологии / Мин-во обороны РФ; ГВМУ МО РФ. – М., 2000. – 300 с.
5. Инструкция по диагностике, медицинской сортировке и лечению острых радиационных поражений. Минздрав СССР, МО СССР, М.1978.48 с.
6. Инструкция по диагностике, медицинской сортировке и лечению пострадавших с комбинированными радиационными поражениями на этапах медицинской эвакуации. МЗ СССР, МО СССР. М. Б.и. 1988.24 с.
7. Актуальные проблемы военной радиологии. М. Воениздат,1991.152 с.
8. Аникеев А.И., Иванов А.М. Медицинская защита / Московский медицинский стоматологический институт. - М., 1989.
9. Василенко И.Я. Токсикология продуктов ядерного деления. — М.: Медицина, 1999. — 200 с.
10. Защита от оружия массового поражения. - М.: Воениздат, 1989.- 398 с.