

РАДИАЦИОННЫЕ АВАРИИ И МЕДИКО-СОЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, СНИЖАЮЩИЕ ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

**ЛЕКЦИЯ ЧЕРМНЫХ Н.С. - ДОЦЕНТА
КАФЕДРЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФАРМАКОЛОГИИ И РАДИОБИОЛОГИИ
ИМ. АКАДЕМИКА П.В. СЕРГЕЕВА**

Радиационная авария

– это непредвиденный случай утраты контроля над источником ионизирующего излучения вследствие неисправности оборудования, неправильных действий персонала, из-за стихийного бедствия или по другим причинам.

Уровень по шкале INES	Критерии оценки безопасности			Примеры событий ^[1]
	Население и окружающая среда	Радиологические барьеры и контроль	Глубоководная защита	
Уровень 7. <i>Крупная авария</i>	Сильный выброс (радиологический эквивалент более нескольких десятков тысяч ТБк I-131): тяжёлые последствия для здоровья населения и для окружающей среды			Авария на Чернобыльской АЭС, СССР, 1986 год Авария на АЭС Фукусима I, Япония, 2011 год

**Уровень 6.
Серьёзная
авария**

Значительный выброс (радиологический эквивалент более нескольких тысяч [ТБк I-131](#)): требуется полномасштабное осуществление плановых мероприятий по восстановлению

[Авария на ПО «Маяк», СССР, 1957 год](#)

Уровень 5.
***Авария с
риском для
окружающе
й среды***

Ограниченн
ый выброс:
требуется
частичное
осуществлен
ие плановых
мероприятий
по
восстановлен
ию

Тяжёлое
повреждение
активной
зоны и
физических
барьеров

[Авария на
АЭС Три-
Майл-
Айленд,
США, 1979
год](#)
[Авария в
Уиндскейле,
Великобрит
ания, 1957
год](#)

Уровень 4.
*Авария без
значительно
го риска для
окружающе
й среды*

Минимальны
й выброс:
облучение
населения в
пределах
допустимого

Серьёзное
повреждение
активной
зоны и
физических
барьеров;
облучение
персонала с
летальным
исходом

Авария на
ядерном
объекте
Токаймура,
Япония, 1999
год

**Уровень 3.
Серьёзный
инцидент**

Пренебрежительно малый выброс: облучение населения ниже допустимого предела

Серьёзное распространение радиоактивности; облучение персонала с серьёзными последствиями и

Аварию удалось предотвратить, но для этого пришлось задействовать все исправные системы безопасности. Также: потеря, похищение или доставка не по адресу высокоактивного источника

Пожар на [АЭС Вандельос, Испания, 1989 год](#)
[Авария на СХК, Россия, 1993 год](#)

Уровень 2.
Инцидент

Значительное
распростране
ние
радиоактивн
ости;
облучение
персонала за
пределами
допустимого

Инцидент с
серьёзными
отказами в
средствах
обеспечения
безопасности

Многочислен
ные события

Уровень 1.
*Аномальная
ситуация*

Аномальная
ситуация,
выходящая за
пределы
допустимого
при
эксплуатации

Многочислен
ные события

Уровень 0. Событие
*с отклонением ниже
шкалы*

Отсутствует
значимость с точки
зрения безопасности

Многочисленные
события

В результате крупных аварий (большие территории, всё население на них) встают проблемы:

1. Медицинские
2. Социальные
3. Сельскохозяйственные
4. Природоохранные

Социальные проблемы

Мобилизация людей и средств на ликвидацию аварии, очистку территории, строительство защиты и др.

Эвакуация части населения, их трудоустройство и обеспечение, компенсационные выплаты, медицинское обслуживание.

Сельскохозяйственные проблемы

1. Очистка и регенерация пахотных земель и лугов.
2. Стойловое содержание скота.
3. Возможное использование сельхоз продукции

Природоохранные меры

Предотвращение переноса радионуклидов с загрязненных территорий на другие, особенно по крупным водным системам.

Медицинские проблемы:

- следствие внешнего и внутреннего облучения персонала АЭС в дозах, превышающих 1 грей
- радиационное воздействие на значительное число лиц, привлекаемых для ликвидации крупной аварии
- длительное облучение населения на загрязненных радионуклидами территориях

В 1944-1986 гг. в мире произошло
296 радиационных ситуаций с
выбросом в окружающую среду
радиоактивных веществ и
облучением людей, из них
8 – на АЭС,
209 - на различных атомных
установках,
10 – на исследовательских
сборках.

Крупные радиационные аварии

Октябрь, 1957 г., Уиндскейл, Англия. Авария на заводе по получению плутония. Реактор с газовым охлаждением и графитовым замедлителем. В результате ошибки персонал при эксплуатации реактора резко возросла температура в ТВЭЛах и возник пожар в активной зоне реактора, который длился в течение 4-х суток. В атмосферу были выброшены радионуклиды:

131 йод - $20 \cdot 10^3$ Ки

132 теллур – $1,2 \cdot 10^3$ Ки

137 цезий- 600 Ки

89 стронций – 80 Ки

90 стронций – 2 Ки

Через сутки радиоактивное загрязнение от облака было зарегистрировано в Бельгии, затем в Германии, в южной Норвегии.

В 16 км от реактора концентрация радиоактивного ида в молоке коров - 1,4 мкКи на л, в 80 км – 0,06 мкКи на 1л

На территории в 500 кв. км был введен запрет на потребление молока от местных коров. Молоко изымалось и выливалось в Ирландское море. Через 40 дней запрет на потребление молока был снят.

Была определена лучевая нагрузка на щитовидную железу детей и взрослых, проживающих в 5 км зоне - **1 сГр** – у взрослых и **10 – 16 сГр** – у детей (ПДД 3 сГр для взрослых и 1,5 сГр для детей).

При ликвидации аварии погибли от лучевых поражений 13 человек из персонала.

Март 1979 года, Три-Майл-Айленд, Пенсильвания, США. Крупнейшая авария на ВВР АЭС. Из-за неправильных действий персонала по аварийному расхолаживанию реактора произошёл сбой в его работе. Расплавилась оболочка 50% ТВЕЛОВ и 70 % продуктов деления перешло в теплоноситель первого контура. Мощность дозы в реакторном зале **80 рентген в час, во вспомогательных – **10 рентген** в час.**

В атмосферу произошли два выброса радиоактивных газов : ксенон 133 – 10^7 кюри (β^- , 5 дней), криптон - 10^7 кюри (β^- ,), йод 131 – 15 кюри (β^- , 8 дней), в ближайшую реку было сброшено 185 куб. метров слабо активной воды. По решению губернатора штата дети и беременные женщины были эвакуированы, продукты с/х использовались только после переработки. Индивидуальные дозы у населения составили:

- в 7 километровой зоне – 0,84 мЗв,
- в 13 километровой – 0,7 мЗв.

1948 год. В ста километрах севернее Челябинска начал функционировать комбинат по производству оружейного плутония – комбинат «Маяк» г. Кыштым. В 1949 году в СССР была создана и испытана плутониевая бомба. При работе реактора появлялись жидкие, газообразные, твёрдые радиоактивные отходы (РАО). В 1949-1951 годах «Маяк» осуществлял сброс высокоактивных жидких РАО после их разбавления в реку Течу (приток реки Исеть, впадающей в Тобол.)

Недалеко от места сброса в селе Метлино общая доза хронического облучения 4000 человек за 1948-1956 годы составила 2 грей. В 1953-1956 годах проводилась эвакуация жителей этого села. В селе Муслюмово (78 км) в 1952 году регистрировали мощность дозы 100 мР в час, при норме для категории Б 60 мкР в час. В 90-е годы у кромки воды мощность дозы составляла 1,5 мР в час. Хроническая лучевая болезнь зарегистрирована у 70 человек. Среди населения отмечается повышенная заболеваемость вегето-сосудистой дистонией, астенизация, снижение иммунных функций. Всего с верховья Сечи на проживание в другие районы более 10000 человек.

1957 год. Взрыв ёмкости хранилища РАО (20 МКи). Радиоактивностью загрязнено 23 тысячи квадратных километров, с населением 270 тысяч в 217 населённых пунктах. Это так называемый Восточно-уральский радиоактивный след, задевший Челябинскую, Свердловскую и Тюменскую области. С территории, имеющей плотности загрязнения 4 Ки на квадратный километр были переселены 50 тысяч человек с дозой на ККМ около 4 бэр.

1967 год. На промплощадке комбината Маяк озеро Карачай, ёмкость временного хранения жидких РАО, в которых находилось 120 Мки радионуклидов - 20 Мки в воде, остальные на дне. В результате засухи, обмеления озера и сильного ветра с берегов был понят ил в воздух (0,6 Мки) и разнесён ветром на территории 2,2 тыс. кв км, где проживало 2000 населения в 68 населённых пунктах.

В 6 населённых пунктах содержание стронция 90 в почве составляло 20 Ки на кв. км, при допустимой норме 0,1 Ки. Сейчас работа Маяка направлена на переработку ОЯТ и РАО. На нём накоплено более 27 тонн плутония, 90 МКи высокоактивных РАО. Озеро Карачай имеет площадь 0,25 кв. км его объём 400 тыс куб. м, α -активность – 10^{-5} Ки на литр, β -активность 10^{-2} Ки на литр, на 1 кг ила приходится 0,3 кюри стронция 90. Население контролируемых территорий получает дополнительное облучение 0,5 мЗв, то есть половину от фонового.

Критерии для принятия решения об эвакуации населения из зоны радионуклидного загрязнения.

Прогнозируемая доза облучения в первые 10 суток (мГр)	Уровень А	Уровень Б
Все тело человека	50	500
Щитовидная железа, кожа, легкие	500	5000

Примечание: если прогнозируемая доза облучения не превышает уровня А, то нет необходимости в отселении. Если прогнозируется превышение уровня Б, то эвакуация осуществляется по мере возможности, а при уровне Б – требуется немедленная эвакуация.

Медико-санитарные мероприятия, снижающие последствия радиационной аварии

Ограничение поступления радиоактивного йода в клетки щитовидной железы.

Препараты стабильного йода: **KI** (таблетки по 125 мг 1 раз в день в течение недели взрослым и детям старше 2-х лет, детям до двух лет одна треть таблетки, беременным 125 мг KI + 0,75 г перхлората калия с целью снижения токсического действия йода на развивающийся в утробе матери организм).

Раствор йода 5% спиртовой (по 20 капель 2 раза в день в стакане молока, киселя или чая после еды взрослым и подросткам старше 14-ти лет, детям старше 5 лет по 10 капель 2 раза в день в обоих случаях в течение недели). Детям младше 5-ти лет – нанесение тампонов на кожу со спиртовым раствором йода (2,5 % - двадцать капель наочно детям 2 – 5-ти лет, детям до 2-х лет 10 капель наочно)

Максимальный защитный эффект препаратов стабильного йода достигается при предварительном их применении или в момент поступления радиоiodа в организм. Защитный эффект значительно ниже при приеме препаратов стабильного йода более, чем за 2 часа до поступления радиоiodа в организм человека. Отсроченное назначение с этих препаратов снижает эффективность йодной профилактики, тем не менее, их применение даже через 6 часов после разового поступления йода-131 в организм снижает дозу облучения щитовидной железы примерно в 2 раза.

Критерии для принятия решений об ограничении потребления загрязненных продуктов в первый год после возникновения аварии

Радионуклиды	Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах, кБк/кг	
	Уровень А	Уровень Б
Йод 131, Цезий 134, 137	1	10
Стронций 90	0,1	1,0
Плутоний 238,239, америций 241	0,01	0,1

Часть 2

Радиационная катастрофа на ЧАЭС в 1986 году и её медико-социальные последствия

Апрель, май 1986 года ЧАЭС, СССР, Украина.

Крупнейшая (глобальная) радиационная катастрофа. Вследствие нарушения нормального режима эксплуатации реактора и особенности его конструкции (РБМК) произошёл неконтролируемый рост мощности реактора, снижение теплосъёма, разрушение активной зоны и реактора в целом с возгоранием графита и выбросом материалов активной зоны в окружающую среду на высоту более 1 километра. 27 апреля на высоте 200 метров на расстоянии 5 - 10 км 1 рентген в час, 28 апреля – 0, 5 рентгена .

Было оценено, что активность выброса 26 апреля составляла 20 – 22 Мки (без инертных газов). На разрушенный реактор с вертолётов сбрасывали свинец, глину, песок, соединения бора, доломит. 2 мая мощность выброса упала до 4 Мки в сутки, но 3 – 5 мая произошёл второй выброс до 8 Мки в сутки, 9 мая он составлял 0,01 Мки, в конце мая – 20 Ки в сутки. Всего в атмосферу было выброшено примерно 50 Мки, что составляло примерно 3,5 % от общей активности реактора.

Более половины выброшенных радионуклидов выпали на территории Белоруссии, Украины и России.

Радиоактивному загрязнению подверглась территория **в 25 тыс кв. км**, на которой проживало более **5 млн** человек: 45% в Белоруссии, 31 % на Украине, 24% - в России.

Оценка изотопного выброса в результате катастрофы на ЧАЭС в 1986 году.

Радионуклид	T1/2	Вид излучения	Активность (МКи) 26 апр	Активность (МКи) 6 мая
Ксенон 133	5 суток	β	5	45
Йод 131	8 суток	β, γ	4,5	7,3
Цезий 137	30 лет	β, γ	0,3	1,0
Стронций 90	28 лет	β, γ	0,015	0,22
Плутоний 238	88 лет	α, γ	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
Плутоний 239	$2,4 \cdot 10^4$	α, γ	$10,0 \cdot 10^{-4}$	$10,0 \cdot 10^{-3}$
Плутоний 241	14 лет	β	$2 \cdot 10^{-2}$	0,14
Америций 241 (дочерний ^{241}Pu)	433 года	α	-	-

Оценка изотопного выброса в результате катастрофы на ЧАЭС в 1986 году.

Радионуклид	T1/2	Вид излучения	Активность (МКи) 26 апреля	Активность (МКи) 6 мая
Плутоний 242	$3,7 \cdot 10^5$ лет	α	10^{-7}	10^{-6}
Кюрий 242	163 дня	α	0,003	0,021
Нептуний 239(материнский для ^{239}Pu)	2,4 дня	β	2,7	1,2

На промплощадке и в непосредственной близости к ней мощность дозы составляла более 100мр в час. Персонал ЧАЭС и пожарные в ночь аварии подверглись внешнему гамма облучению, а также воздействию инкорпорированных радионуклидов и бета, альфа облучению кожи на фоне термических ожогов

ОЛБ была установлена у 134 человек , из них
ОЛБ IV – 20 человек с дозами облучения 6-16 Гр,
ОЛБ III - 23 человека (4,2-6.3 Гр),
ОЛБ II - 53 человека (2-4 Гр)
ОЛБ I – 38 человек

В острый период (100 дней) умерли 28 человек.
Всего за период до 2005 г. умерли 43 человека
(примерно 40% от заболевших ОЛБ). В группе
сопоставления (96 человек, у которых диагноз
ОЛБ не был подтверждён) за эти же годы умерли
7 человек (7%).

Причины смерти в отсроченный период – онкогематологические заболевания, острая сердечно-сосудистая недостаточность, миелодисплазия, цирроз печени, туберкулез легких, гангрена легкого и др.

В ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС принимали участие более 800 тысяч человек (военнослужащие, специалисты, рабочие), для которых был установлен предел дозы в **50 мЗв** (5 бэр) в сутки, и не более **250 мЗв** (25 бэр) за всё время работы.

Реконструкция реально полученных доз показала, что 7 % из них получили дозы менее 1 сГр (1 рад), 15,5 % - 1-5 сГр, 29% - 5-10 сГр, 47 % - 10-25 сГр, 1,5 % - 25-50 сГр, при средней продолжительности работы в зоне 2 месяца и решающем вкладе в дозу внешнего β, γ -облучения (90% от общей дозы). У 2-3 % ликвидаторов, работавших в первые дни и недели после катастрофы вклад внутреннего облучения в суммарную поглощённую дозу был сопоставим с вкладом внешнего β, γ -облучения

Кроме того, указанные дозы не учитывают вклад α -излучения трансурановых радионуклидов, о также от высокоактивных «горячих» частиц – аэрозолей субмикронного и микронного размеров, поступивших в организм через органы дыхания создавших высокие локальные дозы в тканях лёгких, лимфоузлов и элементов крови.

Показатели заболеваемости по основным классам болезней у ликвидаторов аварии и населения России в целом на 10^5 человек (по В.К. Иванову и А.Ф. Цыбу, 1996).

Основные классы болезней	Ликвидаторы	Население
Новообразования	747	788
Злокачественные новообразования	233	140
Болезни крови и кроветворных органов	339	94
Болезни органов пищеварения	9739	2635
Болезни органов кровообращения	6306	1472
Психические расстройства	5743	599
Болезни эндокринной системы	6036	327
Все классы болезней	75606	50783

По разным регионам у 50-80 % ликвидаторов обнаружены те или иные офтальмологические расстройства – инволюционные процессы, дистрофические, сосудистые. Наиболее типичны катаракта, деструкция стекловидного тела, поражения сетчатки (ангиопатия, ангиосклероз, макулодистрофия).

Отмечено, что заболевания ликвидаторов носят более тяжёлый и затяжной и рецидивирующий характер и плохо поддаются лечению.

Оперативные вмешательства сопровождаются замедленным заживлением ран и частым вторичным заживлением.

Последствия катастрофы на ЧАЭС для населения

Припять - город с 50000 населением в 3-х км от ЧАЭС. 26 апреля обстановка была относительно спокойной вследствие большой высоты выброса радионуклидов и отнесения их ветром от города. Жителям были даны рекомендации не открывать окна и не выходить на улицу.

Был организован подворный обход для обеспечения населения препаратами йода. Через 41 час началась эвакуация населения на тысяче автобусов. Считают, что за этот срок жители получили дозы гамма облучения **15-50 мЗв** и **10-20 мЗв** на кожу по β -излучению.

У 37 % детей лучевая нагрузка на лучевую железу не превысила 0,3 грей (уровень А). У 2-х % она составила от 0,3 до 1 грей. У 1% - 1,1-1,3 грей.

Врачи, работники милиции и городского хозяйства получили 0,13 – 0,15 грей.

В некоторых районах 30-ти километровой зоны дозы облучения населения превысили уровень А. Мощность дозы в зоне доходила до 350 мР в час по γ -излучению, а по β -излучению в 5 – 10 раз выше. После 2 мая в течение нескольких дней население 30-ти км зоны было эвакуировано. Позднее было отселено население некоторых населённых пунктов, где даже в 60-ти км от реактора мощность дозы составляла 0,3 мР в час.

Для населения была применена 35-ти
бэрная концепция, то есть недопущения
превышения дозы накопленной за 70 лет
жизни **35 бэр**. При этом в условиях
аварии была принята допустимой доза в
первый год после
аварии **10 бэр**, в следующий год – **3 бэр**.

В 1991 году был принят Закон о социальной защите граждан, подвергшихся радиационному облучению в результате аварии на ЧАЭС в 1986 году (в настоящее время **Закон № 1244-1**), согласно которому считается допустимым и не требующим каких либо вмешательств в 1991 году и в последующие годы облучение населения средней эффективной эквивалентной дозой **0,1 бэр (1мЗв)**.

Выделены зоны по уровню радиоактивного загрязнения.

1. Зона отчуждения (условно 30-ти км зона и несколько больше) с плотность загрязнения более **50 Ки** на кв. км по цезию 137.

Запрещено проживание и проведение любой хозяйственной деятельности.

2. Зона отселения – более 15 Ки на кв. км по цезию 136, стронцием 90 более 3 Ки на кв. км, и более 0,1 Ки на кв. км по плутонию 239, 240. При загрязнении более 40 Ки на кв. км и доза облучения может превысить 0,5 бэр в год отселение обязательно. На остальной территории, если люди принимают решение о выезде за ними сохраняются право на компенсации и льготы.

3. Зона проживания с правом на отселение. 5 – 15 Ки на кв. км, доза может превышать 100 мбэр в год (1мЗв). Льготы у отселившихся сохраняются.

4. Зона со льготным социально-экономическим статусом, позволяющим обеспечить уровень жизни выше среднего по стране. 1 – 5 Ки на кв. км по цезию 137 с дозой не выше 0,1 бэр в год.

Медицинские последствия облучения населения

Выброс радиоактивного йода, задержка или отсутствие йодной профилактики препаратами стабильного йода привело к значительному поражению щитовидной железы. Следствием этого явилось развитие гипотиреоза, аутоиммунных тиреоидитов, доброкачественных и злокачественных образований щитовидной железы.

Особенно радиочувствительной железа оказалась у детей от **0 до 4-х лет** в силу более высокого накопления йода из-за более высокого уровня метаболизма, а также отсутствия капсулы этого органа, что привело к более высоким лучевым нагрузкам и от внешнего облучения.

За пятилетний период до аварии в Белоруссии не было зарегистрировано ни одного случая рака щитовидной железы у детей; на Украине 25 случаев у детей и 34 у подростков.

В 1991 году в Белоруссии 21 случай рака железы у детей, к 2000-му году 716 случаев среди детей, 342 у подростков, 372 случая у взрослых.

В Киеве в 1981-86 годах
регистрировались 1-2 случая рака
железы у детей в год.

В 1990 –19, в 1991 –12, 1992 –42.

То есть латентный период составил 5-6
лет, заболевание возникало внезапно
без признаков изменений в
общесоматическом статусе. Отмечена
высокая агрессивность процесса, раннее
метастазирование.

Часто рак выявлялся только при метастазировании.

В 92,3 % наблюдений это был высокодифференцированный папиллярный рак с наличием мультифокального роста.

Отмечено увеличение случаев рака железы у детей в России.

Рак щитовидной железы у детей (А.Ф.Цыб, 1996)

Область	Число случаев, годы 1986-90	Число случаев, годы 1991 -1995
Брянская	5	74
Калужская	0	14
Тульская	4	44

Рак щитовидной железы у взрослых (А.Ф. Цыб, 1996)

Область	Число случаев, годы 1986-90	Число случаев, годы 1991 -1995
Брянская	267	681
Калужкая	81	179
Тульская	222	624
Орловская	144	385

Отмечено увеличение частоты пороков развития у новорожденных в Гомельской и Могилёвской областях в 1986 – 1992 годах.

В наибольшей степени это касалось расщелин губы и нёба, удвоения мочеточников, полидактилии и дефектов развития мозга.

У жителей Наровлянского района Гомельской области по сравнению с жителями Минской области церебро-васкулярная патология проявлялась в **6 раз чаще** ангиопатии в группе от 20 до 29 лет отмечались **в 7 раз чаще.**, хроническая ЛОР патология в **3,5 раз чаще,** острая ЛОР патология в **3,5 раза чаще.** Причины этого гипопластические процессы в слизистой и сосудистый стаз.

У детей Гомельской области частым заболеванием явилось лимфопатия, у 75 % - лейколимфопения, у каждого третьего ребёнка увеличение щитовидной железы.

Литература.

1. Медицинские аспекты аварии на ЧАЭС. Материалы научной конференции 11-13 мая 1988 года. Киев. Здоровья. 1988г.
2. Бутомо Н.В., А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза и др. Основы медицинской радиобиологии. /под ред. И.Б. Ушакова. – СПб: ООО «Издательство Фолиант», 2004.- 384с.(гл.7).
3. Васин М.В. Средства профилактики илечения лучевых поражений. М. Российская медицинская академия последипломного образования МЗ РФ. – Учебное пособие. М., 2001 – 312с.

4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы.- М.:Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999-116с.
5. Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А. Радиобиология человека и животных М., Высшая школа, 2004. – 549с.
6. Цыб А.Ф., Будагов Р.С., Замулаева И.А. и др. Радиация и патология (учебное пособие под общ. Ред. А.Ф Цыба) М; Высшая школа, 2005. – 341с.

7. Галстян И.А., Гуськова А.К., Надежина Н.М.//
Последствия облучения при аварии на ЧАЭС: анализ
клинических данных. Медицинская радиология и
радиационная безопасность, 2007, **52**, № 4, С.5-13

Благодарю за внимание!