

ГБОУ ВПО ВГМА им. Н.Н. Бурденко  
Минздрава России

Кафедра гигиенических дисциплин

Лекция №6

# Радиационная безопасность населения

## ЯТЦ включает три стадии:

- **начальная** (добыча, переработка, создание и транспортирование ядерного топлива);
- **основная** (получение ядерной энергии, превращение ее в энергию других видов и использование);
- **заключительная** (транспортирование использованного топлива и отходов, регенерация топлива, переработка и удаление отходов).

В качестве сырья для ядерного топлива используется урановая руда, которую добывают на рудниках. В урановых рудах содержатся 0,1-0,2% урана и около 0,56 мКи ( $2,07 \cdot 10^7$  Бк) каждого радионуклида уранового семейства. На гидрометаллургических заводах из нее вырабатывают урановый концентрат, из которого делают тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы) для ядерных реакторов. В процессе переработки руды образуется большое количество отходов ("хвостов").

Жидкие радиоактивные отходы, образующиеся при переработке уранового сырья, содержат в основном радий-226 в количестве 250-500 пКи/л (9,25-18,5 Бк/л), а газообразные - радон, эманлирующий со скоростью 500 пКи/м<sup>2</sup>·с (18,5 Бк/м<sup>2</sup>·с). При изготовлении ТВЭЛов в жидкие отходы поступает смесь изотопов урана в количестве до 84 мКи ( $3,11 \cdot 10^8$  Бк) и радия-226 - 3,4 мКи ( $1,26 \cdot 10^7$  Бк) на 1 МВт эл/год. Активность выбросов в воздух на этой стадии очень невелика.

# Искусственные радионуклиды, образующиеся при эксплуатации ядерного реактора

При эксплуатации ядерных реакторов различного назначения (промышленные, судовые, исследовательские и др.) - на основной стадии ЯТЦ - образуется большое количество искусственных радионуклидов, преимущественно короткоживущих. К ним относятся продукты деления (осколки) ядер урана-235, урана-233, плутония-239, а также продукты активации, которые образуются в результате облучения нейтронами конструкционных материалов реактора и его рабочих сред.

# Активационные радионуклиды

- **коррозионные продукты**  
(радиоизотопы железа, кобальта, хрома, марганца, никеля, цинка)
- **радионуклиды собственно теплоносителя** (тритий, радиоизотопы азота, кислорода, а также металлов и газов, используемых в качестве теплоносителя)
- **радионуклиды примесей и добавок в теплоноситель**

# Наиболее важные гигиенически значимые активационные радионуклиды

- марганец-54
- железо-55
- кобальт-60
- тритий
- полоний-210 и некоторые другие.
  - Суммарная их активность чрезвычайно высока и составляет около  $3,7 \cdot 10^{20}$  Бк ( $10^{10}$  Ки)

# Регламентированные выбросы газоаэрозольных отходов АЭС

- радиоизотопы благородных (инертных) газов (криптона-85, 87, 88, ксенона-133, 135, аргона-41)
- радиоизотопы йода (йода-129, 131, 133, 135)
- тритий
- углерод-14.



## радиохимических заводах по регенерации ядерного топлива для АЭС

- ***криптон-85, углерод-14, йод-129 и тритий***, обладают высокой степенью миграции, приводящей к их рассеянию в **глобальном масштабе** за время, меньшее периода полураспада
- ***стронций-90, цезий-137, изотопы трансурановых элементов*** обуславливают преимущественно **местное и региональное** загрязнение биосферы.

# Атмосферные выпадения

- локальные (местные)
  - тропосферные  
(из нижнего слоя атмосферы)
- стратосферные (глобальные)

- Радионуклиды, содержащиеся в крупных аэрозольных частицах, оседают в пределах нескольких сотен километров от места взрыва, образуя местные или локальные выпадения.
- Более мелкие аэрозольные частицы, попавшие в нижние слои тропосферы и находящиеся там, в среднем 1 месяц, выпадают в виде осадков на расстоянии сотен-нескольких тысяч километров от места взрыва.
- Аэрозольные частицы, инжектированные в стратосферу (слой атмосферы, находящийся на высоте 10-50 км) и пребывающие там, в среднем до 2 лет (углерод-14 - более 7,5 лет), образуют радиоактивные выпадения глобального характера. При этом основная часть их выпадает в том полушарии, где эти частицы достигли стратосферы.

# Выход некоторых продуктов деления при взрыве ядерного оружия.

Радионуклид	Период полураспада, сут.	Выход на деление, %	Активность на 1 Мт, ПБк
$^{89}\text{Sr}$	50,5	2,56	590,0
$^{90}\text{Sr}$	28,6 лет	3,50	3,9
$^{95}\text{Zr}$	64,0	5,70	920,0
$^{103}\text{Ru}$	39,5	5,20	1500,0
$^{106}\text{Ru}$	368	2,44	78,0
$^{131}\text{J}$	8,04	2,90	4200,0
$^{136}\text{Cs}$	13,1	0,036	32,0
$^{137}\text{Cs}$	30,2 лет	5,57	5,9
$^{140}\text{Ba}$	12,74	5,18	4700,0
$^{141}\text{Ce}$	32,5	4,58	1600,0
$^{144}\text{Ce}$	284	4,69	190,0
$^3\text{H}$	12,3 лет	0,01	$2,6 \cdot 10^{-2}$
$^3\text{H}$	12,3 лет	Выход при реакции синтеза термоядерного оружия	740,0

- Большая часть загрязнения земного шара долгоживущими продуктами деления является результатом стратосферных выпадений после мощных термоядерных взрывов. Среди них наиболее значимы в гигиеническом отношении: стронций-90, цезий-137 и ряд других. В первые же месяцы после взрыва более сильное загрязнение было обусловлено короткоживущими радионуклидами тропосферных выпадений.
- Общее количество стронция-90, образовавшегося в результате всех проведенных до 1981 г. испытаний, составило 600 ПБк. За вычетом локальных выпадений общее глобальное накопление радиостронция составило к концу 1980 г. около 400 ПБк. Из них 3/4 его были инжектированы в северном полушарии, 1/4 - в южном.
- Из общего количества стронция-90, выброшенного в атмосферу при испытаниях, к 1976 году его содержание в атмосфере равнялось примерно  $3,7 \cdot 10^{17}$  Бк, а ежегодные выпадения составляли  $3,33 \cdot 10^{15}$  Бк, причем в северном полушарии плотность выпадений достигала  $3,15 \cdot 10^9$ , а в южном -  $9 \cdot 10^8$  Бк/км<sup>2</sup>•год.

- Из долгоживущих продуктов радиоактивных выпадений основное значение как источник внешнего облучения имеет цезий-137. Общее количество цезия-137, попавшего в атмосферу в результате взрывов ядерного оружия до 1981 года, составило 960 ПБк (пета беккерель). Ежегодные выпадения данного радионуклида определялись на уровне  $5,1 \cdot 10^9$  Бк/км<sup>2</sup>. В северном полушарии, где проводилось большинство испытаний ядерного оружия, выпала большая часть радиоактивных осадков, и дозы облучения за счет цезия-137 оказались в 4 раза больше. В настоящее время цезий-137 и стронций-90 являются основными вкладчиками среди всех прочих ПЯВ в текущие годовые дозы облучения человека.

■ Попадание РВ на почву, в водоемы, непосредственно на поверхность растений и в дыхательные пути животных порождает сложные процессы миграции радионуклидов по пищевым цепочкам, сопровождающиеся, как правило, концентрированием радиоактивности в отдельных звеньях этих цепочек. Однако в ряде случаев обнаружено и уменьшение концентрации радиоизотопов в последующем звене по сравнению с предыдущим. Например, содержание стронция-90 на 1 г кальция в растениях оказалось больше, чем у животных, поедающих эти растения. Такое явление получило название "дискриминации стронция". В связи с этим преимущественное питание растительными продуктами в странах "*рисовой диеты*" создает большее облучение костей и костного мозга за счет радиостронция по сравнению со странами "*мясо-молочной диеты*".

# Способы уменьшения радиоактивного загрязнения продовольствия.

- известкование кислых почв
- внесение повышенных количеств калийных удобрений в почву
- дезактивации молока
- оптимальные сроки забоя северных оленей
- дезактивации овощей (мытьё и срезание наружного слоя)
- предварительный радиационный контроль пищевых продуктов
- защита продовольствия от поверхностного загрязнения радиоактивными выпадениями путем укрытия запасов на складах и широкого применения герметичных упаковок.



- в 1963 году, до подписания договора, годовая ЭД (эффективная доза) от ПЯВ составляла около 7% дозы облучения от естественных источников, то к 1966 году она уменьшилась до 2%, а в начале 80-х годов составляла 1%. В последние годы в нашей стране средняя годовая ЭД от ПЯВ равняется 0,02 мЗв, что составляет лишь 1% от уровня ЕРФ, при этом на долю внешнего облучения приходится 0,014 мЗв, а внутреннего - 0,006 мЗв. Суммарная ожидаемая КЭД (коллективная эффективная доза) от всех ядерных взрывов в атмосфере, произведенных к настоящему времени, составляет примерно 30 млн. чел.-Зв. К 1980 г. человечество получило лишь 12% этой дозы.

# Радиоактивное загрязнение воздуха

- В стратосферу инжектируются мелкодисперсные (1 мкм и менее) частицы в основном при мощных термоядерных взрывах. С воздушными течениями они переносятся преимущественно в широтном направлении, многократно опоясывая земной шар и вызывая глобальные радиоактивные выпадения. Гравитационное оседание этих частиц крайне замедлено, и поэтому период полуочищения стратосферы от радионуклидов велик и колеблется от 7 месяцев до 1 года и более.
- В верхние слои тропосферы радионуклиды попадают также в основном при атомных взрывах. Здесь они рассеиваются ветрами и вертикальными смещениями воздушных масс и постепенно выпадают на поверхность земли с атмосферными осадками, в результате гравитационного оседания, электростатического осаждения на частицах нерадиоактивной пыли, соприкосновения с почвой, водой, наземными объектами и других процессов, образуя тропосферные радиоактивные выпадения и приводя к региональным загрязнениям. Период полуочищения тропосферы значительно короче и составляет 20-40 сут. Максимальные загрязнения атмосферного воздуха наблюдаются на широте 25-35° обоих полушарий, а максимальные выпадения радионуклидов - в средних (40-50°) широтах, причем наибольшие уровни этих выпадений обусловлены атмосферными осадками и приходятся на весенне-летний период.

# Пути поступления радиоактивных веществ в водоемы.

- непосредственно (например, с удаляемыми отходами)
- в результате выпадения из атмосферы
- с жидкими и твердыми стоками с берегов и т.п.

# Основные направления миграции радионуклидов в водоемах

- разбавление
- сорбция донными отложениями
- накопление гидробионтами
- поступление на береговую территорию

# Разбавление

- Разбавлением достигается снижение высоких опасных концентраций радионуклидов в местах сброса, однако широкое рассеяние их ведет к определенному ухудшению радиоэкологической ситуации на значительных пространствах. О подвижности радионуклидов в воде судят по периоду пребывания их в водной фазе - среднему времени нахождения нуклида в воде между поступлением и переходом в донные отложения.

# Сорбция донными

## ОТЛОЖЕНИЯМИ

- В донные отложения радионуклиды поступают за счет процессов осаждения, диффузии, ионного обмена, с отмирающими организмами и т.д. Степень накопления радионуклидов на дне определяют размер частиц грунта, химические свойства воды, отложений и соединений, содержащих радионуклиды, глубины водоема. Так, суглинки обладают большей сорбционной способностью, чем пески. Стронций-90 сорбируется мало, а прометий-147 - в максимальной степени. С повышением солености воды переход радионуклидов в грунты уменьшается. На малых глубинах в прибрежных районах радионуклиды быстро выпадают на дно, в то время как снижения активности воды в открытом океане почти не наблюдается, хотя содержание стронций-90 и цезия-137 в воде открытых океанов ниже, чем в воде закрытых морей. Инертные в химическом отношении радионуклиды и их соединения не задерживаются в прибрежных районах и выносятся в открытый океан.

- **коэффициент распределения** - отношение количества радионуклида в единице массы высушенного образца грунта к количеству радионуклида в единице объема воды.

- Коэффициенты распределения радионуклидов широко варьируют ( $1 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^5$ ): для кальция-45 и стронция-90 они минимальны, а для прометия-147 - максимальны. Высокая сорбционная емкость донных отложений может приводить к накоплению радионуклидов на дне и, соответственно, в донных организмах, с которыми РВ могут попадать в организм человека.

# Накопление радионуклидов в гидробионтах

- Водные растительные и животные организмы играют важную роль в миграции радионуклидов в водной среде и являются основным звеном пищевой цепи, по которой РВ могут попадать из гидросферы в организм человека. Гидробионты усваивают радионуклиды из воды, донных отложений и других организмов по пищевым цепям. Степень накопления радионуклидов растительными и животными организмами широко колеблется даже у одних и тех же видов в зависимости от минерализации воды, стадии развития гидробионта, химических свойств радионуклида и других экологических условий. Так, содержание стронция-90 и цезия-137 в морских организмах значительно ниже, чем в пресноводных, а травоядные животные по сравнению с хищниками в большей степени усваивают радионуклиды.
  - Наиболее активно усваиваются гидробионтами радионуклиды, относящиеся к структурным элементам (углерод, азот, фосфор, кремний, кальций, стронций), элементам-катализаторам (железо, цинк, марганец, кобальт, никель, хром), легко гидролизующимся элементам (алюминий, селен, иттрий, церий, рутений), тяжелым галогенам и тяжелым двухвалентным ионам.



- **коэффициент накопления** - отношение концентраций радионуклида в гидробионтах и воде.
  - Эти коэффициенты для различных организмов и радионуклидов варьируют очень широко ( $1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^5$ ), причем наибольшие значения их характерны для зоо- и фитопланктона, бентосных организмов.

# Пути поступления радионуклидов на береговую полосу из водоемов

- в результате хозяйственной деятельности человека
- перенос образующихся над водной поверхностью аэрозолей
- затопления при паводках и приливах
- перенос насекомыми, земноводными, птицами и т.п.

# Пути поступления радионуклидов в почву

- с выбросами радиоактивных отходов
- с атмосферными выпадениями
- из растительных и животных организмов
- из грунтовых вод.

■ Высокой сорбционной способностью обладают глинистые почвы и чернозем, низкой - пески. Некоторые радионуклиды включаются в состав малорастворимых соединений и, таким образом, переходят в необменную форму, могут выключаться из круговорота веществ. Большая часть радионуклидов, попавших на почву, прочно фиксируется ее поверхностными слоями. Так, до 80% выпавших стронция-90 и цезия-137 удерживается верхним 5-см слоем почвы. Миграция радионуклидов вглубь почвы обусловлена процессами их вымывания дождевыми водами.

- **коэффициент задержки** - процентное отношение количества сорбированных на поверхности растения радионуклидов к количеству осевших.
  - Этот коэффициент для травы составляет в среднем 25%. Осевшие на поверхности растения радионуклиды могут смываться дождем, сдуваться ветром или поступать во внутренние части растения и усваиваться.

- Усвоение радионуклидов растениями из почвы зависит от их подвижности в земле, биологических особенностей растений и свойств соединений радионуклидов, при этом различия в усвоении (коэффициенты перехода) могут достигать  $10^3$ - $10^6$ . Искусственные радионуклиды, как правило, находятся в соединениях, более доступных для усвоения растениями. Однако, с течением времени, они с различной скоростью переходят в трудно растворимые формы. Так, цезий-137 в почвах довольно быстро переходит в труднодоступную форму, тогда как стронций-90 может длительно (многие годы) оставаться в обменной форме. В связи с этим радиостронций хорошо усваивается растениями, причем его накопление в них обратно пропорционально количеству обменного кальция в почве. Поэтому содержание его иногда выражают в так называемых стронциевых единицах (1 с. е. = 1 пКи (пико кюри) стронция-90 на 1 г кальция).

- В подвижной форме цезий-137 также хорошо усваивается растениями. Его накопление связано с наличием в почвах обменного калия, поэтому его содержание выражают в цезиевых единицах (1 ц.е. = 1 пКи (пико кюри) цезия-137 на 1 г калия). Соотношение стронция-90 и цезия-137 в растениях определяется видом последних и типом почв. Так, в бобовые стронция поступает в 10 раз больше, чем цезия, однако на торфяниках это соотношение резко меняется в пользу цезия. Содержание радиоактивных изотопов йода в растениях определяется их внекорневым поступлением.

■ **Сельскохозяйственная продукция** - один из главных источников поступления радионуклидов в организм человека. Так, 30-60% дозовой нагрузки от глобальных радиоактивных выпадений связано именно с пищевым путем поступления радионуклидов. В некоторых районах Земли пищевые продукты могут явиться причиной повышенного поступления радионуклидов в организм человека. Так, пастухи на Крайнем Севере получают дозы от цезия-137, в 100-1000 раз превышающие среднюю индивидуальную ЭД для населения умеренных широт, поскольку цезий-137 накапливается в мхе (ягеле), затем мясе северных оленей, являющемся одним из основных продуктов питания народов Крайнего Севера. Эта же пищевая цепь обуславливает и повышенное поступление в организм людей северных народностей полония-210. В районах Белорусско-Украинского полесья торфяниковыми почвами слабо фиксируется цезий-137, в результате чего он в относительно больших количествах поступает в растения, организм животных и человека. Основными поставщиками его являются молоко (до 70%) и картофель (10-27%).



# Агротехнические приемы уменьшения поступления радионуклидов по пищевым цепям

- глубокая вспашка почвы снижает накопление радионуклидов в корнеобитаемом слое
- известкование кислых почв и внесение фосфатных удобрений фиксируют в почвах стронций-90
- повышенные дозы калийных удобрений уменьшают поступление цезия-137
- рациональное вскармливание (введение в пищу кальция, замена сена силосом-концентратом и т.д.) достигается снижение поступления радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных.

- **Санитарно-защитная зона (СЗЗ)** - это территория вокруг радиологического объекта, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации объекта может превысить предел дозы.
  - В СЗЗ устанавливается режим ограничений: запрещается размещение жилых зданий, детских учреждений, больниц, санаториев и других оздоровительных учреждений, а также промышленных и подсобных сооружений, не относящихся к учреждению, для которого она устанавливается. Использование земель СЗЗ для сельскохозяйственных целей требует специального согласования.
- К **зоне наблюдения (ЗН)** относится территория, где вследствие радиоактивных сбросов и выбросов объекта облучение населения может достигать предела дозы.

# Обоснование размеров СЗЗ И ЗН

- Размеры зон определяют на основе:
  - расчетов дозы внешнего излучения и распространения радиоактивных выбросов в атмосферу
  - сбросов в водоемы от всех источников с учетом используемой системы очистки
  - перспективного увеличения мощности производства
  - метеорологических, гидрологических и экологических факторов.

# Санитарно-эпидемиологическое заключение не может быть выдано, если:

- защита от ИИ в данных условиях использования источников не обеспечивает снижение суммарной дозы облучения до основных дозовых пределов;
- имеются недостатки в организации:
  - радиационной безопасности
  - радиационного контроля
  - получения, учета, хранения источников
  - захоронения радиоактивных отходов
  - а также в случае других нарушений, которые могут привести к повышенному облучению персонала или аварийным ситуациям (недостаточная эффективность систем, предотвращающих загрязнение РВ атмосферного воздуха и водоемов; не надлежащие условия труда персонала и т.п.).

# Меры радиационной безопасности

- регламентация допуска к работам с источниками ИИ;
- зонирование объекта и отдельных его помещений с определением санитарно-пропускного режима и путей движения персонала;
- организация проведения радиационного, в том числе дозиметрического контроля на объекте;
- порядок использования спецодежды, средств индивидуальной и коллективной защиты;
- порядок учета, получения, хранения, транспортировки и выдачи источников излучения;
- порядок дезактивации и обращения с радиоактивными отходами;
- правила содержания помещений и рабочих мест;
- порядок проведения частичной и полной санитарной обработки;
- правила личной гигиены при работе с источниками ИИ;
- медицинские мероприятия (обязательные ежегодные освидетельствования, контроль за предоставлением профилактического питания и дополнительного отпуска, использование радиопротекторов и т.д.).