

**ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Т.Г.ШЕВЧЕНКО.
КАФЕДРА ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.**

РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННЫЕ ОПАСНОСТИ

*Курс лекций для студентов направления 20.03.01 «Техносферная
безопасность», профиль «Безопасность жизнедеятельность в
техносфере» очной и заочной формы обучения.*



Тирасполь, 2015

УДК 574(075.8)+614.8.084(075.8)
ББК Е 081.28я73+Ц9я73
Р15

«Радиоэкология и радиационные опасности» курс лекций для студентов направления 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность жизнедеятельность в техносфере» очной и заочной формы обучения/ Сост.: Капитанчук Д.М., Курдюкова Е.А.

Одним из важнейших абиотических факторов, определяющих развитие жизни на планете, является ионизирующее излучение. Научно-технический прогресс в значительной степени способствовал перераспределению природных радионуклидов в окружающей среде и появлению искусственных радионуклидов, получаемых при ядерных взрывных и на атомных реакторах.

Дисциплина «Радиоэкология и радиационные опасности» - отрасль экологии, изучающая распределение, миграцию, круговорот радионуклидов в биосфере и воздействие ионизирующего излучения на экологические системы (биоценозы и популяции организмов). Цель курса - изучение студентами механизма воздействия ионизирующей радиации на живые организмы, источников и путей поступления радионуклидов в биосферу, а также принципов и норм радиоэкологического нормирования. В курсе рассмотрены характеристики и особенности, основных экологически значимых радионуклидов, а также их поведение в окружающей среде и живых организмах. Отдельные разделы курса посвящены закономерностям накопления радионуклидов в биоте и их миграции в трофических цепях, биоиндикации радиоактивных загрязнений и изменению биологического разнообразия в зонах радиоактивного загрязнения.

Составители:

КАПИТАНЧУК Д.М. – ст. преподаватель кафедры «Техносферная безопасность»
КУРДЮКОВА Е.А. – ст. преподаватель кафедры «Техносферная безопасность»

Рецензенты:

ЕНИ В.В. - к.п.н., доцент, зав. кафедрой «Техносферная безопасность» ПГУ им. Т.Г. Шевченко
МАРКОВ Д.А. – к.физ.-мат.н., доцент кафедры ПМиИ ФМФ ПГУ им. Т.Г. Шевченко.

Рекомендовано к изданию Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко от
« ____ » _____ 2015 г

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

Целями освоения дисциплины являются:

- изучение действия радиации как экологического фактора на всех иерархических уровнях биосферы;
- дать основные представления и понятия о радиоактивности и радиационной безопасности, а именно:
 - изучить теорию и принципы воздействия различных видов ионизирующих излучений на биологические объекты;
 - научить основным положениям радиационной безопасности и правилам ее нормирования;
 - привить студентам навыки анализа радиационной обстановки;
 - изучить основные опасности, связанные с эксплуатацией предприятий ядерного топливного цикла;

Основными задачами курса являются:

- изучить характеристики основных экологически значимых радионуклидов;
- знать виды излучений и источники радиации;
- иметь представление о физико-химических основах явления радиоактивности и о взаимодействии ионизирующих излучений с веществом;
- знать об особенностях влияния радиации на живые организмы;
- иметь знания по дозиметрии и методах защиты от воздействия радиоактивных излучений.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**
 - природные и искусственные источники радиации и состав излучений;
 - знать и рассчитывать действие радиационного излучения на живые организмы;
 - основные экологические проблемы ядерно-топливного цикла;
 - нормы радиационной безопасности;
 - пути снижения содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.
- **Уметь:**
 - уметь пользоваться средствами дозиметрического контроля;
 - знать основные федеральные и международные законы в области радиационной защиты и контроля;
- **Владеть:**
 - знаниями и умениями по оценке воздействия радиационных факторов (внешних и внутренних) на организм человека и окружающую природную среду, в том числе, в условиях чрезвычайных ситуаций.

Дисциплина относится к математическому и естественнонаучному циклу. Студент должен обладать базовыми школьными знаниями в области естественных наук (физики, географии, экологии, биологии, химии) и основ безопасности жизнедеятельности, уметь пользоваться общенаучными принципами и логическими понятиями, устанавливать причинно-следственные связи. Знания и навыки, полученные студентами при изучении дисциплины «Радиоэкология и радиационные опасности», являются базисными при дальнейшем изучении дисциплин «Безопасность жизнедеятельности», «Производственная безопасность», «Производственная санитария и гигиена труда», «Защита в ЧС», «Медико-биологические основы безопасности», «Физико-химические процессы в техносфере», «Экология».

СОДЕРЖАНИЕ.

ЛЕКЦИЯ 1	«Предпосылки возникновения радиационной экологии. Предмет и задачи радиоэкологии».....	5
ЛЕКЦИЯ 2	«Естественные (природные) и искусственные (техногенные) источники ионизирующего излучения. Космическое излучение: прямое и опосредованное влияние».....	9
ЛЕКЦИЯ 3	«Естественные радиоактивные «семейства». Искусственная радиоактивность».....	13
ЛЕКЦИЯ 4	«Внешнее и внутреннее облучение живых организмов. Физико-химическое объяснение причин радиобиологического вреда, включая радиогенетические последствия».....	18
ЛЕКЦИЯ 5	«Биоиндикация радиоактивных загрязнений. Использование источников радиационного излучения в хозяйственной и иной деятельности».....	26
ЛЕКЦИЯ 6	«Источники и пути поступления долгоживущих радионуклидов в биосферу».....	34
ЛЕКЦИЯ 7	«Характеристики основных экологически значимых радионуклидов. Основные свойства радионуклидов и процессы их переноса в биосфере».....	42
ЛЕКЦИЯ 8	«Искусственные радионуклиды: стронций-90, цезий-137, плутоний. Естественные радионуклиды: калий-40, радий-226, уран-238, торий -230. Зоны повышенного содержания естественных радионуклидов».....	56
ЛЕКЦИЯ 9	«Средства защиты от радиации и радиационных загрязнений. Принципы и методы радиоэкологического нормирования»	68
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		84
ГЛОССАРИЙ		86

ЛЕКЦИЯ 1. «ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЭКОЛОГИИ. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ РАДИОЭКОЛОГИИ».

1. История развития радиоэкологии.

2. Понятие радиоэкологии, её связь с другими науками.

В истории развития радиоэкологии можно выделить несколько этапов. В довоенные годы главное внимание было уделено особенностям накопления растениями тяжелых природных радионуклидов – 238-U, 226-Ra, 232-Th и др. Этот интерес, главным образом, связывался с разработкой биогеохимического метода поиска урана, а также с академическим изучением закономерностей поглощения тяжелых элементов растениями. В то же время были выполнены первые исследования действия повышенного природного радиационного фона на популяции растений.

Второй этап развития связан с проведением в 50-х – 60-х годах ядерных испытаний в атмосфере, которые сопровождались выпадением на земную поверхность большого количества искусственных радионуклидов, которые включались в биологический круговорот с участием растений, животных и человека. Именно в это время и произошло оформление сельскохозяйственной радиоэкологии в рамках ее нынешней структуры как самостоятельной научной дисциплины. В эти годы вследствие глобального мониторинга природной среды, загрязненной радиоактивными выпадениями после ядерных испытаний, были изучены закономерности миграции в почвенно-растительном комплексе таких представителей продуктов деления, как 137-Cs и 90-Sr (основные долгоживущие искусственные радионуклиды в составе смеси осколков деления), особенности накопления растениями большого количества радиоактивных продуктов деления, радионуклидов с наведенной активностью и некоторых трансурановых радионуклидов. Были определены параметры метаболизма этих радионуклидов в организме сельскохозяйственных животных, а также сделана оценка параметров накопления искусственных радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства. Эти результаты стали основой для определения дозовых нагрузок на население и объективного анализа последствий загрязнения биосферы радиоактивными выпадениями после ядерных испытаний.

Наконец, последний этап развития радиоэкологии относится к концу 60-х – началу 70-х годов. Это период интенсивного роста ядерной энергетики и использования радиационных технологий в разных отраслях народного хозяйства. В эти годы стало понятно, что ядерная энергетика в ближайшие десятилетия будет одним из главных источников удовлетворения, непрерывно растущих энергетических потребностей человека – с одной стороны, и что общий прогресс в развитии ядерной энергетики зависит от решения экологических проблем охраны природной среды от радиационного влияния, связанного с полным ядерным топливным циклом (ЯТЦ), - с другой стороны. Это связано с тем, что на всех этапах ЯТЦ, начиная с добычи уранового сырья и заканчивая переработкой отработанного топлива и захоронением высокоактивных отходов, происходит освобождение искусственных радионуклидов в окружающую среду, и в том числе в сельскохозяйственную сферу, а также ускорение темпов миграции тяжелых природных радионуклидов, в том числе и в сельскохозяйственных цепочках круговорота.

Таким образом, решение проблемы экологической безопасности функционирования атомных электростанций, и вообще всех предприятий ЯТЦ, тесно связано с анализом радиационной ситуации, складывающейся в агропромышленной сфере на территориях, прилегающих к предприятиям ЯТЦ, а в аварийных случаях – и с принятием мер по ограничению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию.

2. Понятие радиоэкологии, её связь с другими науками.

Радиационная экология или радиоэкология — наука, изучающая особенности существования живых организмов и их сообществ в условиях наличия естественных радионуклидов или техногенного радиоактивного загрязнения.

Радиоэкология – сравнительно молодая наука, сформировавшаяся в начале XX века.

Радиоэкология, раздел экологии, изучающий концентрацию и миграцию радиоактивных нуклидов в биосфере и влияние ионизирующих излучений на организмы, их популяции и сообщества - биоценозы.

Элементы радиоэкологии содержатся в работах по биогеохимии радиоактивных веществ В. И. Вернадского (20-е гг. 20 века), в монографии чешских учёных Ю. Стокласа и Ж. Пенкава «Биология радия и урана» (1932). Окончательно радиоэкология сформировалась к середине 50-х гг. 20 в. в связи с созданием атомной промышленности и экспериментальными взрывами ядерных бомб, вызвавшими глобальное загрязнение окружающей среды радионуклидами стронция, цезия, плутония, углерода и др.

Радиоэкология обычно имеет дело с весьма малыми мощностями хронического внешнего и внутреннего облучения организма. В природных условиях организмы подвергаются облучению за счёт естественного фона радиоактивности (космические лучи, излучения природных радионуклидов U, Ra, Th и др.), а также за счёт радиоактивного загрязнения биосферы искусственными радионуклидами. Однако многие растения и животные способны накапливать в жизненно важных органах и тканях радионуклиды, что влияет на их миграцию в биосфере и приводит к значительному усилению внутреннего облучения организма. Повышенные дозы облучения, воздействуя на генетический аппарат клеток, приводят к возрастанию темпов наследственной изменчивости. Более высокие дозы облучения понижают жизнеспособность организмов (вплоть до вымирания наиболее чувствительных к ионизирующим излучениям популяций) и тем самым вызывают изменение структуры биоценозов и обеднение межвидовых взаимоотношений в них. Выявление закономерностей, лежащих в основе этих процессов, имеет большое значение для ряда отраслей народного хозяйства.

Так, особый практический интерес представляют следующие изучаемые радиоэкологией проблемы:

- миграция радионуклидов в пищевых цепях организмов (в т. ч. с.-х. животных и человека);
- обрыв или ослабление экологических связей; дезактивация с.-х. земель, водоёмов и т.п., загрязнённых радионуклидами;
- поиск поверхностно залегающих месторождений радиоактивных руд (по радиоактивности растений-индикаторов);
- выявление территорий суши и акваторий, загрязнённых искусственными радионуклидами.

Многообразие практических аспектов радиоэкологии привело к её подразделению на морскую, пресноводную, наземную (в т. ч. лесную, сельскохозяйственную), а также ветеринарную и граничащую с ней радиационную гигиену.

Результаты радиоэкологических исследований оказали большое влияние на принятие международных конвенций, направленных на ограничение испытаний ядерного оружия и отказ от его применения в условиях войны. На основе рекомендаций радиоэкологии в промышленности разрабатываются и внедряются замкнутые циклы охлаждения ядерных реакторов, улавливатели радиоактивных аэрозолей, методы хранения и обезвреживания радиоактивных отходов, исключаяющие их попадание в окружающую среду. Все живые организмы на Земле, в т. ч. человек, находятся под постоянным воздействием косми-

ческого излучения и излучения радионуклидов, содержащихся в атмосфере, воде, почвах, горных породах, строительных и др. материалах. Наибольшее воздействие на живые организмы оказывают природные радионуклиды 40-K, 235-U, 238-U, 232-Th и продукты их распада, а также космогенные радионуклиды, образующиеся главным образом в верхних слоях атмосферы под действием космического излучения 14-C, 3-H и др. Развитие атомной промышленности и проведение испытаний ядерного оружия (начиная с 40-50-х гг. 20 в.) привело к тому, что в окружающую среду во все возрастающих количествах стали попадать искусственные (техногенные) радионуклиды 85-Kr, изотопы ксенона, 131-I, 90-Sr, 144-Ce, 137-Cs и др., многие из которых имеют сравнительно большие периоды полураспада (до нескольких десятков лет). Особенно много техногенных радионуклидов попало в окружающую среду до подписания Московского договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере и на поверхности Земли и океана (1972). В результате крупных аварий на ядерных реакторах (Уиндскейл, 1957; Чернобыль, 1986) в атмосферу выброшены большие количества продуктов ядерного деления урана, плутония и нептуния, которые в виде аэрозолей и газов распространились на большие расстояния.

Пути распространения радионуклидов от мест выброса, хранения и захоронения радиоактивных отходов, а также за счет выщелачивания из радиоактивных пород зависят от химических форм, в которых находятся радионуклиды, способности этих форм к комплексообразованию, гидролизу, окислению и восстановлению, других факторов. В конечном счете рассеянные в среде радионуклиды усваиваются живыми организмами (растениями и животными), причем в организм человека они могут попадать не только непосредственно (при дыхании, с питьевой водой и т. п.), но и по сложным пищевым цепям (напр., 90-Sr в значительной мере попадает по цепочке растительность - травоядные животные - молоко).

Важная задача радиоэкологии – вскрытие путей попадания радионуклидов в организм человека и защита его от такого попадания.

Современная радиоэкология развивается на стыке многих наук. Так, ядерная физика и ядерная геофизика позволяют изучать радиационные поля, т. е. распределение источников ионизирующего излучения в атмосфере, водоемах, почвах, горных породах; радиохимия - исследовать состояние радионуклидов в водных растворах, аэрозолях (определять химические формы, степени окисления элементов и т.д.), формы, в которых происходит миграция радионуклидов в среде (истинные растворы, ультрадисперсные твердые частицы и т.д.), изменение этих форм либо при прохождении геохимических барьеров типа река - море или океан - атмосфера, либо при изменении температуры, кислотности, влажности, других факторов. Сведения о концентрировании радионуклидов различными организмами и их отдельными органами (напр., 90-Sr накапливается в костях человека, а 131-I - в щитовидной железе), данные о генетических и других последствиях воздействия ионизирующего излучения дает радиобиология. Методы расчета дозы и мощности дозы ионизирующего излучения разработаны в дозиметрии.

Для радиоэкологии представляет интерес, прежде всего изучение воздействия на организмы малых доз ионизирующего излучения.

Таким воздействием обладают, например, радон и продукты его распада (сам радон образуется при распаде имеющегося повсеместно в исключительно низких концентрациях радия), в заметных количествах присутствующие в воздухе в современных зданиях, построенных с использованием новых строительных материалов (шлаков, зольных остатков от сгорания ископаемых топлив). **Систематические исследования радиоэкологии направлены**, в частности, на то, чтобы правильным выбором материалов и целесообраз-

ной планировкой помещений исключить опасное повышение концентрации радона в школьных зданиях, жилых помещениях, производств, предприятиях.

В реальных условиях степень воздействия ионизирующего излучения может быть усилена наличием в среде вредных примесей (например, в атмосфере - оксидов азота, серы, СО; в почвах и в водах - ионов тяжелых металлов, пестицидов и т.д.); это - так называемый радиозэкологический синергизм.

Важная проблема радиозэкологии - изучение пространственно-временной изменчивости естественного фона ионизирующего излучения (например, на поверхности Земли в 50-100 раз). Повышенным фоном характеризуются, в частности, так называемые радиоактивные провинции - районы с высоким естественным содержанием урана и тория в почве и горных породах, расположенных на поверхности. Во многих странах ведутся работы по непрерывному контролю (мониторингу) радиоактивного загрязнения воздуха, почв, растительных и животных организмов, позволяющие выявлять зоны повышенного загрязнения, их источники, а также радиологически чистые зоны. Мониторинг позволяет надежно устанавливать даже незначительные изменения в радиационной обстановке на местности, связанные с изменениями в режимах работы ядерных реакторов, предприятий атомной промышленности и т.д., не говоря уже об аварийных ситуациях.

Сведения, получаемые в радиозэкологии, играют важную роль при выработке международных соглашений, направленных на полное прекращение испытаний ядерного оружия, сокращение его производства; на них основаны нормативные документы, в т.ч. определяющие порядок захоронения радиоактивных отходов, безопасную работу ядерных реакторов, условия работы персонала; возможность использования с.-х. и иной продукции населением и т.д.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите и кратко охарактеризуйте исторические периоды развития радиозэкологии.
2. Дайте определение понятию радиозэкология.
3. Какие проблемы изучает радиозэкология?
4. Какова задача радиозэкологии?
5. С какими науками взаимосвязана радиозэкология?

Литература:

1. Руднев А.В. Радиационная экология. М. :Изд-во МГУ,1990.
2. Пивоваров Ю.П., Михалев В.П. Радиационная экология. М. :Академия, 2004.
3. Ярошинская А.А. Ядерная энциклопедия. .:Благотворительный фонд Ярошинской,1996.

ЛЕКЦИЯ 2. «ЕСТЕСТВЕННЫЕ (ПРИРОДНЫЕ) И ИСКУССТВЕННЫЕ (ТЕХНОГЕННЫЕ) ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ. КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ: ПРЯМОЕ И ОПОСРЕДОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ».

1. Классификация источников ионизирующего излучения (ИИИ)

2. Техногенные источники ионизирующего излучения

3. Космическое излучение. Космогенные радионуклиды.

1.Классификация источников ионизирующего излучения (ИИИ).

Источниками могут быть космические или земные объекты. Также технические устройства, испускающие или способные испускать ионизирующее излучение.

Источник ионизирующего излучения – ИИИ – объект, содержащий радиоактивный материал или техническое устройство, испускающее или способное испускать в определённых условиях ионизирующее излучение.

В зависимости от происхождения ИИИ могут быть:

1) естественные (космические лучи, гамма излучение от земной породы, продукты распада); 2) искусственные (рентгеновское излучение, радиоактивные осадки, выбросы радионуклидов, гамма-излучение, используемое промышленностью)

Природные источники ионизирующего излучения

Основную часть облучения населения составляют естественные ИИИ (при нормальных условиях): 1) природные радионуклиды, содержащиеся в воздухе, пище, строительных материалах, земной коре и т.п. 2) космическое излучение.

В среднем, это 80% от эффективной годовой дозы (около 2,4 мЗв). В основном, в следствии внутреннего излучения.

Наиболее вероятные источники галактических (космических) источников – вспышки сверхновых звёзд. Космические лучи – это уникальный естественный источник частиц сверхвысоких частиц. Многие небесные тела (Солнце, Солнечная корона, Луна) являются естественными источниками рентгеновского излучения.

Радионуклиды, которые присутствуют на Земле:

1) калий-40; 2) рубидий-87; 3) в основном члены цепочек урана-238 и тория-232

Уровни земной радиации не одинаковы. В среднем, дозы от земной радиации составляют от 0,3 до 0,6 мЗв/год. Но на Земле имеются места, где уровень радиации достигает 250 мЗв/год (районы Бразилии). Наибольшую опасность представляет радон (в газообразной форме; может быть в воздухе, воде). **Радон** – инертный газ, попадающий в атмосферу из почвы, скальных пород. Средняя концентрация – 8 Бк/м³. Радон даёт хороший терапевтический эффект лечения для больных различного профиля. Природная радиоактивность также связана с деятельностью человека. Радионуклиды присутствуют в топливе, в частности, в угле, который содержит значительное количество природных радионуклидов. После сжигания угля, радиоактивные элементы концентрируются в зольной пыли, после поступают в окружающую среду с выбросами. Удобрения, прежде всего фосфатные удобрения, содержат уран и тем самым содержат значительное количество радионуклидов семейств урана и тория. К естественным источникам радиоизотопов относят также термальные воды. **Полная эффективная доза, обусловленная естественными источниками радиации составляет, в среднем по Земле, около 2,4 мЗв в год.** В дополнение к природным существуют искусственные источники радиации, связанные с возрастающим использованием ядерных технологии в медицине, промышленности, энергетике. Индивидуальные дозы, получаемые людьми от техногенных источников, различаются, хотя, в большинстве случаев, невелики. Основной вклад в дозу излучения от техногенных

источников вносят медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением радиации.

2. Техногенные источники ионизирующего излучения.

Источник ядерного излучения – радиоактивное вещество или устройство, в котором осуществляется радиоактивный распад или ядерные реакции.

Техногенные источники – разнообразные технические устройства и комплексы различного назначения, в которых воплощаются современные достижения в развитии ядерных технологий.

Под радиоактивным источником подразумевают любое количество радиоактивного материала, которое предназначено для использования в качестве источника ионизирующего излучения.

Различают калибровочные, контрольные и промышленные источники ИИ.

- 1) Калибровочные ИИИ, используемые для калибровки измерительных приборов
- 2) Контрольные ИИИ, используемые для проверки правильности работы измерительных приборов
- 3) Промышленные ИИИ – установки для облучения различных материалов с помощью источников с высокой радиоактивностью

ИИИ могут быть:

- 1) Внутренними – вещества, попадающие вовнутрь организма и оседающие в нём (не обязательно случайно).
- 2) Внешние источники – находятся вне облучаемого объекта (ускорители, рентгеновские аппараты, реакторы).

ИИИ бывают:

- 1) Закрытые – радиоактивный источник, в котором радиоактивный материал заключён в оболочку (ампулу) и предотвращается контакт персонала с открытым веществом.
- 2) Открытые – источники, при использовании которых возможно попадание радионуклидов в окружающую среду.

Характеристики источников:

- 1) Вид излучения (гамма излучатели, альфа излучатели, нейтронные излучатели и т.п.)
- 2) Геометрия источника (форма и размеры – точечный, протяжённый – линейные, поверхностные, объёмные)
- 3) Мощность
- 4) Энергетический состав (спектр: моноэнергетический, непрерывный)
- 5) Угловое распределение излучения
- 6) Период полураспада

Загрязнение биосферы искусственными радионуклидами связано с эксплуатацией предприятий ядерного топливного цикла, с испытаниями ядерного оружия и других объектов, использующих источники ИИ. Ведущую роль играют объекты и предприятия ядерного топливного цикла, составляющие производственную основу ядерной энергетики.

ИИИ, вызванным к жизни деятельностью человека являются глобальные эффекты ядерных испытаний. Во второй половине 20-го века в атмосфере было проведено 543 испытания ядерного оружия. В конце 20-го века событием, повлекшим за собой выпадением радиоактивных осадков, явилась авария на Чернобыльской атомной станции в 1986 году, хотя ее вклад в общую картину глобальных выпадений невелик. Важными ИИИ являются ядерная энергетика и промышленность. Преимущества, представляемые ядерными технологиями, предопределили их широкое внедрение в медицину, а также в хозяйственную и техническую деятельность. Предприятия ядерной промышленности и энергетики размещены на территории многих стран и создают источник техногенного облучения. Радиоак-

тивные выбросы атомных станций и предприятий ядерной промышленности регулируются жесткими нормативами, и поэтому практически не изменяют природный фон и содержание радионуклидов в окружающей среде. Это справедливо для нормально работающих ядерных установок. Конечно, радиационное воздействие значительно повышается в аварийных ситуациях. Аварии существенно различаются по объему радиоактивных выбросов, тяжести последствий их воздействия и размерам территорий, подвергшихся загрязнению.

3. Космическое излучение.

Космическое излучение состоит из частиц, притянутых магнитным полем Земли, галактического космического излучения и корпускулярного излучения Солнца. В его состав входят в основном электроны, протоны и альфа-частицы. Это так называемое **первичное космическое излучение**, а при взаимодействии с атмосферой Земли, переходит во **вторичное излучение**. В результате на уровне моря излучение состоит почти полностью из мюонов (неустойчивая элементарная частица с отрицательным электрическим зарядом) и нейтронов. Поглощенная мощность дозы космического излучения в воздухе на уровне моря равна 32 нГр/час и формируется в основном мюонами. Для нейтронов на уровне моря мощность поглощенной дозы составляет 0.8 нГр/час и мощность эквивалентной дозы составляет 2.4 нЗв/час. *За счет космического излучения большинство населения получает дозу, равную около 0.35 мЗв в год.*

Земля полностью подвергается внешнему космическому облучению, но оно *неравномерно*. Сила космического излучения зависит от солнечной активности, географического положения объекта и увеличивается с высотой над уровнем моря. Наиболее сильное оно на полюсах Земли, и менее на экваторе. Все это происходит из-за магнитного поля Земли, которое отклоняет заряженные частицы космического излучения. Наибольший эффект действия космического внешнего облучения связан с зависимостью космического излучения от высоты (рис.5).

Большую опасность представляют вспышки на Солнце во время космических полетов. Космические солнечные лучи, состоят по большей части из протонов широкого энергетического спектра (энергия протонов до 100 МэВ), Заряженные частицы от Солнца могут достигать Земли за 15-20 мин после того, как вспышку на его поверхности можно увидеть. Вспышка может продолжаться несколько часов.

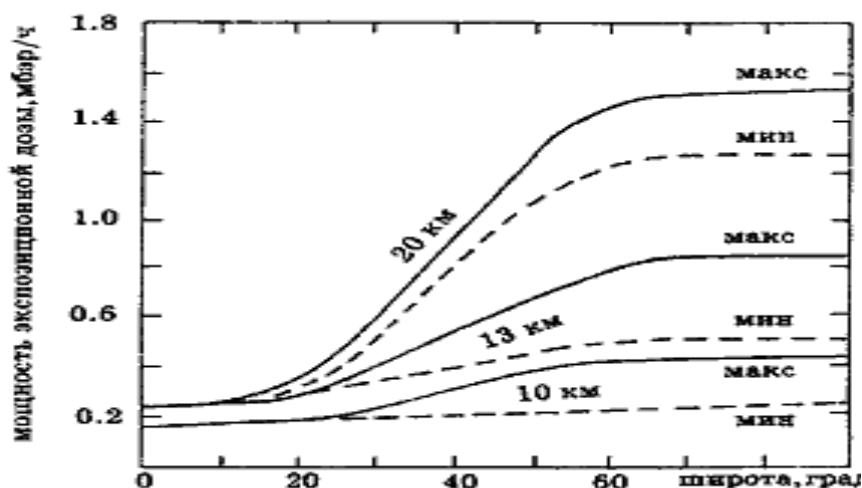


Рис.5. Величина солнечного излучения во время максимальной и минимальной активности солнечного цикла в зависимости от высоты местности над уровнем моря и географической широты.

Величина дозы радиоактивного облучения, получаемая человеком, зависит от географического местоположения, образа жизни и характера труда. Например на высоте 9 км мощность эффективной дозы = 2 мкЗв/час, а это уже приводит к дополнительному облучению. При перелете между континентами на простом самолете ($T_{\text{полета}} \approx 8$ часов), индивидуальная доза, для пассажира будет (50 мкЗв), на 20 % больше, чем у пассажира летящего на сверхзвуковом самолете ($T_{\text{полета}} \approx 3$ часа) (40 мкЗв), хотя последний подвергается более сильному облучению из-за большей высоты полета. Коллективная эффективная доза от глобальных авиаперевозок достигает 10^4 чел-Зв, что составляет на душу населения в мире в среднем около 1 мкЗв за год, а в Северной Америке около 10 мкЗв.

Космогенные радионуклиды.

Небольшой вклад в облучение биосферы вносят космогенные радионуклиды – тритий, углерод-14, бериллий-7 и натрий-22.

Тритий превращается в тритированную воду, с осадками выпадает на земную поверхность и участвует в круговороте воды. Концентрация трития в тканях живых организмов – в среднем 0,4Бк/кг.

Углерод-14 окисляется и через фотосинтез вместе с обычным углекислым газом вовлекается в биотический круговорот. Средняя концентрация углерода-14 в тканях растений и животных составляет 27Бк/кг. Бериллий-7 поступает с дождевой водой в растения, с зелеными овощами – в организм животных и человека в количестве 50Бк/год. Взрослый человек потребляет с пищей 95 кг углерода в год при средней активности на единицу массы углерода 230 Бк/кг.

Суммарный вклад космогенных радионуклидов в индивидуальную дозу составляет около 15 мкЗв/год.

Контрольные вопросы:

1. Назовите естественные источники ионизирующего излучения.
2. Назовите техногенные источники ионизирующего излучения.
3. Космическое излучение.
4. Космогенные радионуклиды.

Литература:

1. Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2007.
2. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: Бином, 2006.
3. Сахаров В.К. Радиоэкология. СПб.: Издательство «Лань», 2006.

ЛЕКЦИЯ 3. «ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОАКТИВНЫЕ «СЕМЕЙСТВА». ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ».

1. Характеристика радиоактивных семейств (рядов).
2. Природные радиоактивные семейства.
3. Искусственная радиоактивность.

Радиоактивные ряды (семейства)— цепочки радиоактивных превращений.

Выделяют три естественных радиоактивных ряда и один искусственный.

Естественные ряды:

- ряд тория ($4n$)— начинается с нуклида Th-232;
- ряд радия ($4n+2$)— начинается с U-238;
- ряд актиния ($4n+3$)— начинается с U-235.

Искусственный ряд:

- ряд нептуния ($4n+1$)— начинается с Np-237.

После альфа- и бета- радиоактивных превращений ряды заканчиваются образованием стабильных изотопов.

Все ещё встречающиеся в природе элементы с атомными номерами, превышающими 83 (висмут), радиоактивны. Они представляют собой звенья цепей последовательных радиоактивных превращений. Элементы, входящие в одну цепь, образуют радиоактивное семейство, или радиоактивный ряд. Известны три радиоактивных семейства. В одном из семейств первичным элементом является U (массовое число 238); в результате 14 радиоактивных превращений (8 из которых связаны с испусканием α -частиц и 6 с эмиссией β -частиц) получается стабильный конечный продукт – радий G (свинец с массовым числом 206). Этот ряд радиоактивных элементов *называется семейством урана*.

Радиоактивные семейства (ряды) – связанные последовательным радиоактивным распадом цепочки (ряды) ядер естественного происхождения.

В природных рядах наблюдается только α - и β - распад. Так как при α - распаде масса атома изменяется на четыре единицы, а при β -распаде изменение массы пренебрежимо мало, то массовые числа элементов, образующих радиоактивный ряд, различаются на величины, кратные четырем. Поэтому возможно существование радиоактивных рядов четырех типов. Атомные веса членов этих рядов выражаются числами: $4n$, $4n+1$, $4n+2$, $4n+3$.

Массовые числа элементов, входящих в семейство урана, определяются общей формулой $4n+2$, где n -целое число. Действительно: атомный вес $^{238}\text{U}=4\cdot 59+2$, атомный вес $^{226}\text{Ra}: 226=4\cdot 56+2$. Семейство урана и превращения, имеющие место в этом ряду. Торий (массовое число 232) является родоначальником ($4n$)-семейства, или семейства тория, конечным стабильным продуктом которого является свинец с массовым числом 208. Атомный вес $^{232}\text{Th}: =4\cdot 58$, атомный вес находящегося в ториевом ряду $^{228}\text{Ra}: 226=4\cdot 56+2$. Семейство актиния (актино-урана), или ($4n+3$)-семейство, имеет родоначальником актино-уран, AcU (уран с массовым числом 235) и конечным стабильным продуктом свинец с массовым числом 207. Атомный вес $^{235}\text{U}: 235=4\cdot 58+3$.

Весьма интересным является близкое сходство трех радиоактивных семейств по характеру цепей и по положению в периодической системе; оно может быть полезным для запоминания схем распада. После цепочки последовательных распадов в конце каждого ряда образуются стабильные ядра с близкими или равными магическим числам количества протонов и нейтронов ($Z=82$, $N=126$), соответственно ^{208}Pb ($4n$), ^{206}Pb ($4n+2$), ^{207}Pb ($4n+3$), ^{209}Bi ($4n+1$). α -Распады изотопов каждого ряда перемежаются β -распадами, так как при α -распадах конечные ядра оказываются все дальше от линии бета-

стабильности, т.е. перегружены нейтронами. При этом, конечно, не возможен переход ядер из одного семейства в другое. Следует обратить внимание на наличие разветвлений в радиоактивных рядах. Во всех трех радиоактивных семействах имеются изотопы элемента с атомным номером 86, называемым **радоном** (иногда эманацией). В рядах находятся три инертных радиоактивных газа - радон, торон и актинон. Вследствие газообразного и инертного характера эманаций их радиоактивные потомки - продукты А, В, С во всех трех рядах - могут быть легко отделены от долгоживущих предшественников.

Радиоактивные потомки эманаций именуются активным налетом. Активный налет может собираться на любой поверхности; особенно эффективно они оседают на отрицательно заряженных электродах. Изотопы радона делят ряды на специфические части. Начальные отрезки содержат наиболее долгоживущие члены рядов – изотопы элементов, расположенных в периодической системе после радона (Fr, Rn, Ac, Th, Pa, U). Конечные отрезки всех трех семейств сходны даже по внешней конфигурации. В них находятся наиболее короткоживущие продукты – изотопы свинца, висмута, полония, таллия и аста-та.

Многие изотопы второй части рядов способны распадаться двумя путями: определенная часть атомов изотопа распадается с испусканием α -частиц, другая часть – с испусканием β -частиц, образуя так называемую "вилку". Распад вновь образовавшихся изотопов имеет противоположный характер: если изотоп возник в результате α -распада, то он оказывается β -активным; изотоп, образовавшийся в результате β -распада, α -активен. Благодаря такой закономерности эти продукты превращаются в один и тот же изотоп одного и того же элемента. Во всех природных семействах встречается такая последовательность типов распада, при которой за одним α -распадом следуют два β -распада или наоборот. Альфа-распад уменьшает заряд ядра на две единицы, два последующих β -распада увеличивают заряд на две единицы. Появляется новый изотоп первоначального элемента.

Семейство нептуния.

Ряды урана, актиноурана и тория до сих пор существуют в природе (их периоды полураспада близки к возрасту Земли). Ряд нептуния практически полностью распался и синтезируется в ядерных реакторах.

Радиоактивные элементы нептуниевого семейства в природе встречаются в очень малых количествах: содержание нептуния в урановой смоляной руде составляет максимум $1.8 \times 10^{-10} \%$ от содержания в ней урана). Встречающийся сейчас в природе нептуний вовсе не является остатком древнего ряда. Ныне он непрерывно образуется по реакции $^{238}\text{U}(n,2n)^{237}\text{U} \rightarrow \beta \rightarrow ^{237}\text{Np}$ при действии на уран нейтронов деления или нейтронов, испускаемых легкими ядрами урановых руд под действие альфа-частиц. $(4n+1)$ - семейство обнаружено и исследовано при синтезе трансурановых элементов. В ряду нептуния все изотопы имеют периоды полураспада меньше 10^7 лет. Наиболее долгоживущим членом этого ряда является нептуний -237 ($T=2.2 \times 10^6$ лет), а конечным стабильным продуктом - ^{209}Bi . Значительная часть природного висмута обязана своим происхождением исчезнувшему ряду нептуния. Радона в этом ряду нет.

Замечание. На самом деле нептуниевый ряд начинается вовсе не с нептуния, а с кюрия. Ряд назван нептуниевым из-за того, что нептуний $^{93}\text{Np}^{237}$ в нем – наиболее долгоживущий элемент, а предшествующие ему материнские нуклиды сравнительно быстро распадаются (Период полураспада истинного родоначальника ряда – кюрия, ^{241}Cm , - всего 32.8 дня). В состав семейства нептуния входят изотопы урана, тория, протактиния, таллия, свинца, полония, а также изотопы почти не известных в природе элементов - нептуния, плутония, америция, франция и астата.

2. Природные радиоактивные семейства.

Рассмотрим некоторые общие свойства рассмотренных выше рядов. Основные природные радиоактивные элементы объединены в 4 семейства: тория, нептуния, урана и урана-актиния. Родоначальниками семейств являются долгоживущие радиоактивные элементы, периоды полураспада которых соизмеримы с возрастом Земли (5×10^9 лет), а конечными элементами – стабильные изотопы свинца и висмута.

Радиоактивные превращения элементов происходят за счет испускания или захвата электрона с образованием изобарных пар или триад, а также за счет испускания α -частицы с изменением массы ядра, отличающейся на значения, кратные 4 ($4n, 4n+1, 4n+2, 4n+3$).

Например, каждый атом ^{238}U при последовательном распаде дает 8 атомов гелия с общей массой 32 и один атом ^{206}Pb , или один грамм – атом материнского вещества превращается в грамм-атом дочернего ($^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8^4\text{He}$). Превращение одного изотопа в другой происходит за счет двух бета-распадов и одного альфа-распада в любой последовательности. Максимальной энергией гамма-излучения в ряду $4n+2$ (^{238}U) обладает изотоп ^{214}Bi (1.76 МэВ), а в ряду $4n$ (^{232}Th) изотоп ^{208}Tl (2.62 МэВ), последний обладает самой высокой энергией гамма-излучения из всех природных радионуклидов.

Вклады в радиационный гамма-фон с поверхности Земли рассматриваемых семейств и не входящего в радиоактивные семейства изотопа ^{40}K составляют: ряд тория - 40%, ряд урана - 25%, ^{40}K - 35% при среднем содержании элементов в почвах $8.5 \times 10^{-4}\%$, $1.5 \times 10^{-4}\%$ и 1.2% соответственно. Максимальную энергию альфа-излучения (10.5 МэВ) имеет природный радионуклид ториевого семейства ($4n$) ^{212}Po .

Все члены радиоактивных рядов связаны друг с другом последовательными необратимыми взаимными превращениями, и в закрытой системе со временем наступает равновесие. Скорость наступления равновесия в целом по ряду определяется периодом полураспада (T) наиболее долгоживущего его члена. С точностью приблизительно 1% время установления равновесия равно приблизительно $7T$ данного нуклида. Например, для уранового семейства, в котором самый долгоживущий член ^{234}U ($T = 2.45 \times 10^5$ лет), продолжительность установления равновесия 1.7 млн. лет. Радиоактивность одной тонны природного урана с находящимися с ним в равновесии радиоактивными элементами семейств ($4n+1, 4n+2, 4n+3$) составляет 1.9×10^{11} Бк/т.

Природные руды содержат накопленные за миллионы лет радиоактивные элементы, которые извлекаются из недр при добыче угля, нефти и т.п. В равновесии с ураном, торием находятся значимые количества дочерних радиотоксичных изотопов. Радиоактивность урановых руд, отнесенная к 1 кг природного урана, в 4 раза выше, чем радиоактивность ториевых руд и практически мало изменяется со временем по сравнению с равновесной максимальной величиной. Исключение составляет семейство нептуния, которое к настоящему моменту практически распалось.

3. Искусственная радиоактивность.

Исследуя ядерные расщепления, французские физики Фредерик Жолио-Кюри (1900—1958) и Ирен Кюри (1897—1955) обнаружили (в 1934г.), что во многих случаях продукты расщеплений радиоактивны. Радиоактивные вещества, образующиеся в результате ядерных реакций, получили название искусственно-радиоактивных в отличие от естественно-радиоактивных веществ, встречающихся в природных минералах.

Искусственно-радиоактивные вещества могут получаться при весьма разнообразных ядерных реакциях. Примером может служить реакция захвата нейтронов серебром. Для проведения такой реакции достаточно поместить пластинку серебра поблизости от источника нейтронов, окруженного парафином (в парафине нейтроны замедляются, а медленные нейтроны легко захватываются ядрами и вызывают ядерную реакцию).

Пластика серебра не претерпевает под действием нейтронов никаких видимых изменений. Однако мы легко можем убедиться, что какие-то изменения произошли, если пластинку серебра, подвергавшуюся в течение нескольких минут облучению медленными нейтронами, поднесем к газоразрядному счетчику. Счетчик обнаружит, что пластинка стала радиоактивной, т. е. испускает излучение, регистрируемое счетчиком; можно убедиться, что испускаются электроны (β -излучение). При этом обнаруживается, что радиоактивность, приобретенная серебром, постепенно ослабевает, спадая вдвое за каждые 2,3 мин.

Таким образом, в обычном серебре образовалось какое-то радиоактивное вещество, обладающее периодом полураспада в 2,3 мин. Вспомогательные эксперименты, равно как и теоретические соображения, показывают, что данная ядерная реакция происходит по схеме



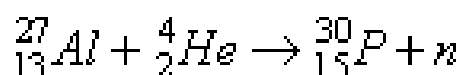
(буква γ в правой части) показывает, что при этой реакции испускается γ -излучение). Образующиеся при этом атомы изотопа серебра ${}^{108}\text{Ag}$ оказываются β -радиоактивными и распадаются, испуская электроны и нейтрино (символ ν) и превращаясь в атомы устойчивого изотопа кадмия:



(подпись под стрелкой указывает, что период полураспада равен 2,3 мин). Радиоактивность изотопа ${}^{108}\text{Ag}$ объясняет, почему в природном серебре, представляющем смесь изотопов с массовыми числами 107 и 109, не встречается изотоп с массовым числом 108: такой изотоп обладает малой продолжительностью жизни и распадается практически полностью вскоре после образования.

Искусственная радиоактивность — весьма распространенное явление: в настоящее время получено по несколько искусственно-радиоактивных изотопов для каждого из элементов периодической системы. Общее число известных искусственно-радиоактивных изотопов превышает 1500, тогда как естественно-радиоактивных изотопов существует лишь около 40, а число устойчивых (нерадиоактивных) изотопов равно 260. Все три типа излучений — α , β и γ , характерные для естественной радиоактивности, — испускаются также и искусственно-радиоактивными веществами. Однако среди искусственно-радиоактивных веществ часто встречается еще иной тип распада, но свойственный естественно-радиоактивным элементам. Это — распад с испусканием позитронов — частиц, обладающих массой электрона, но несущих положительный заряд. По абсолютной величине заряды позитрона и электрона равны.

В качестве примера образования позитронно-активного вещества приведем реакцию, открытую Жолио-Кюри:



При облучении алюминия α -частицами испускается нейтрон и образуется изотоп фосфора с массовым числом 30. Естественный фосфор содержит только один изотоп с массовым числом 31. Получаемый по приведенной реакции изотоп фосфора $^{30}_{15}\text{P}$ является радиоактивным и распадается с испусканием позитронов (символ e^+) и нейтрино по схеме



Период полураспада фосфора $^{30}_{15}\text{P}$ равен 2,5 мин; продуктом его распада является устойчивый изотоп кремния $^{30}_{14}\text{Si}$.

Контрольные вопросы:

1. Дать определение понятию радиоактивный ряд.
2. Назовите естественные и искусственный радиоактивные ряды.
3. Что такое активный налет?
4. Что такое искусственная радиоактивность?

Литература:

1. Кудряшев Ю.Б. Радиационная биофизика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
2. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: Бином, 2006.
3. Перцов Л.А. Природная радиоактивность биосферы. М.: Атомиздат, 1964.

ЛЕКЦИЯ 4. «ВНЕШНЕЕ И ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ ПРИЧИН РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА, ВКЛЮЧАЯ РАДИОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ».

- 1. Внешнее и внутреннее облучение живых организмов.**
- 2. Прямое и косвенное облучение организма.**
- 3. Воздействие ионизирующего излучения на отдельные органы и организм в целом.**
- 4. Биологические эффекты ионизирующего излучения.**
- 5. Лучевая болезнь.**

Фактор радиации присутствовал на нашей планете с момента ее образования, и как показали дальнейшие исследования, ионизирующие излучения наряду с другими явлениями физической, химической и биологической природы сопровождали развитие жизни на Земле. Однако, физическое действие радиации начало изучаться только в конце XIX столетия, а ее биологические эффекты на живые организмы — в середине XX. Ионизационные излучения относятся к тем физическим феноменам, которые не ощущаются нашими органами чувств, сотни специалистов, работая с радиацией, получили радиационные ожоги от больших доз облучения и умерли от злокачественных опухолей, вызванных переоблучением.

Тем не менее, сегодня мировая наука знает о биологическом воздействии радиации больше, чем о действии любых других факторов физической и биологической природы в окружающей среде.

1. Внешнее и внутреннее облучение живых организмов.

Ионизирующее излучение оказывает воздействие на человека несколькими способами:

- **Внешнее облучение - радиационный фон местности на которой проживает человек или от других внешних факторов.**
- **Внутреннее облучение - поступлением в организм радиоактивного вещества, преимущественно через продукты питания.**

Опаснее всего продукты питания и воздух, содержащие изотопы плутония и америция, которые обладают высокой альфа активностью. Плутоний является очень сильным канцерогенным веществом. Альфа излучение имеет высокую степень ионизации и, следовательно, большую поражающую способность для биологических тканей. Попадание плутония или америция через воздухоносные пути в организм вызывает их онкологию.

Внешнее облучение в основном создается радионуклидами с гамма излучением, а также рентгеновским излучением. Его поражающая способность зависит от:

- а) энергии излучения;
- б) продолжительности действия излучения;
- в) расстояния от объекта до источника излучения;
- г) защитных мер.

Для защитных мер от внешнего облучения применяют в основном свинцовые и бетонные защитные экраны на пути излучения. Эффективность применения материала в качестве экрана для защиты от проникновения рентгеновских или гамма-лучей зависит от плотности материала, а также от количества содержащихся в нем электронов. Если от внешнего облучения можно защититься специальными экранами или другими действиями, то с внутренним облучением это сделать не возможно.

Различают три возможных пути, по которым радионуклиды способны попасть внутрь организма:

- а) с пищей;

- б) через дыхательные пути с воздухом;
- в) через повреждения на коже.

Как отмечает Дж. Холл, органы человека реагируют на попавшие в организм вещества исходя исключительно из их химической природы, не смотря на то, являются они радиоактивными или нет. Такие элементы как натрий и калий, входят в состав всех клеток организма. Поэтому, их радиоактивная форма, попавшая в организм, будет также распределяться по всему организму. Некоторые химические элементы могут накапливаться в отдельных органах, например, радиоактивный йод в щитовидной железе или кальцием в костной ткани.

Проникновение радиоактивных веществ с пищей внутрь организма существенно зависит от их химического взаимодействия. Установлено, что хлорированная вода увеличивает растворимость плутония, и как следствие инкорпорацию его во внутренние органы.

При попадании радиоактивного вещества попало в организм, нужно учитывать величину энергии и вид излучения, физический и биологический период полураспада радионуклида. Биологическим периодом полувыведения называют время, которое необходимо для выведения из организма половины радиоактивного вещества. Некоторые радионуклиды выводятся из организма быстро, а другие, могут сохраняться в организме в течение большого времени. Период полувыведения радионуклидов, существенно зависит от физического состояния человека, его возраста и других факторов. Сочетание физического периода полураспада с биологическим, называется **эффективным периодом полураспада** — наиболее важным в определении суммарной величины излучения. Орган, наиболее подверженный действию радиоактивного вещества называют **критическим**.

Исходя из всего перечисленного следует, что среднегодовая эффективная эквивалентная доза облучения человека не должна превышать 1 мЗв в год.

При изучении действия радиации на живой организм были определены следующие особенности:

- Человек не ощущает действие ионизирующих излучений, потому что у него нет для этого нужного органа чувств, который воспринимал бы ионизирующие излучения.
- Действие от малых доз может суммироваться или накапливаться.
- Излучение затрагивает не только живой организм, но и влияет на его потомство — это так называемый генетический эффект.
- Все органы организма воспринимают облучение по разному.
- Каждый организм в целом по разному воспринимает облучение.
- Влияет частота облучения: одноразовое большое облучение вызывает более глубокие последствия, чем частое малое.

2. Прямое и косвенное облучение организма.

Излучение будет считаться ионизирующим, если оно разрывает химические связи молекул, из которых состоят ткани организма, и, тем самым, приводит к биологическим изменениям. Действие ионизирующего излучения происходит на атомном или молекулярном уровне, независимо от того, внешне или внутренне облучается организм. **Энергию непосредственно передаваемую атомам и молекулам биотканей называют прямым действием радиации.**

Одним из прямых эффектов является **канцерогенез**. Раковая опухоль возникает, когда клетка тела бесконтрольно и активно делится. Первопричиной этого являются нарушения в генетическом механизме, называемые **мутациями**. При делении раковая клетка производит только раковые клетки. Щитовидная железа является наиболее чувствительным органом к действию радиации. Не менее восприимчива к влиянию излучения кровь.

Физико-химические изменения сопровождают возникновение в организме чрезвычайно опасных "свободных радикалов".

Кроме прямого ионизирующего облучения выделяют также не прямое действие, связанное с радиолизом воды. При нем возникают **свободные радикалы** - определенные атомы или группы атомов, обладающие высокой химической активностью. Основным признаком свободных радикалов являются избыточные или неспаренные электроны. Такие электроны легко смещаются со своих орбит и могут активно участвовать в химической реакции. Важно то, что весьма незначительные внешние изменения могут привести к значительным изменениям биохимических свойств клеток. К примеру, если обычная молекула O_2 захватит свободный электрон, то она превращается в высокоактивный свободный радикал — **супероксид**.

Если свободных радикалов мало, то организм может их контролировать. Если же их становится слишком много, то нарушается работа защитных систем, жизнедеятельность отдельных функций организма. Повреждения, вызванные свободными радикалами, быстро увеличиваются по принципу цепной реакции. Попадая в клетки, они нарушают баланс кальция и кодирование генетической информации. Такие явления могут привести к сбоям в синтезе белков, что является жизненно важной функцией всего организма, т.к. неполноценные белки нарушают работу иммунной системы. **Основные фильтры иммунной системы** — лимфатические узлы работают в перенапряженном режиме и не успевают их отделять. Таким образом, ослабляются защитные барьеры и в организме создаются благоприятные условия для размножения вирусов микробов и раковых клеток.

Организм человека вырабатывает особые вещества, которые являются своего рода "чистильщиками".

Эти вещества (ферменты) в организме способны захватывать свободные электроны, не превращаясь при этом в свободные радикалы. В нормальном состоянии в организме поддерживается баланс между появлением свободных радикалов и ферментами. Ионизирующее излучение нарушает это равновесие, стимулирует процессы роста свободных радикалов и приводит к негативным последствиям. Активизировать процессы поглощения свободных радикалов можно, включив в рацион питания антиокислители, витамины *A, E, C* или препараты, содержащие селен. Эти вещества обезвреживают свободные радикалы, поглощая их в больших количествах.

3. Воздействие ионизирующего излучения на отдельные органы и организм в целом.

В структуре организма можно выделить два класса систем: управляющую (нервная, эндокринная, иммунная) и жизнеобеспечивающую (дыхательная, сердечно-сосудистая, пищеварительная). Все основные обменные (метаболические) процессы и каталитические (ферментативные) реакции происходят на клеточном и молекулярном уровнях.

Взаимодействие радиации с организмом начинается с молекулярного уровня. Прямое воздействие ионизирующего излучения, поэтому является более специфичным. Повышение уровня окислителей характерно и для других воздействий. Известно, что различные симптомы (температура, головная боль и др.) встречаются при многих болезнях и причины их различны. Это затрудняет установление диагноза. Поэтому, если в результате вредного воздействия на организм радиации не возникает определенной болезни, установить причину более отдаленных последствий трудно, поскольку они теряют свою специфичность.

Радиочувствительность различных тканей организма зависит от биосинтетических процессов и связанной с ними ферментативной активностью. Поэтому наиболее высокой радио поражаемостью отличаются клетки костного мозга, лимфатических узлов, половые клетки. Кровеносная система и красный костный мозг наиболее уязвимы. Однако, они могут восстанавливаться и если не все клетки поражены, кровеносная система

может восстановить свои функции. Репродуктивные органы, например, семенники, так же отличаются повышенной радиочувствительностью. Только через много лет они смогут нормально функционировать. Яичники менее чувствительны, по крайней мере, у взрослых женщин. Но однократная доза более 3 Гр все же приводит к их стерильности, хотя большие дозы при неоднократном облучении не сказываются на способности к деторождению.

Возраст также влияет на радиочувствительность организма. У детей получивших небольшие дозы могут замедлиться или вовсе остановиться рост костей. Облучение мозга ребенка приводит к изменениям в его характере, к потере памяти. Кости и мозг взрослого могут выдержать гораздо большие дозы.

Видовая радиочувствительность возрастает по мере усложнения организма. Это объясняется тем, что в сложных организмах больше слабых звеньев, вызывающих цепные реакции выживания. Этому способствуют и более сложные системы управления (нервная, иммунная), которые частично или полностью отсутствуют в более примитивных особях. Для микроорганизмов дозы, вызывающие 50% смертности, составляют тысячи Гр, для птиц — десятки, а для высокоорганизованных млекопитающих — единицы.

МУТАЦИИ

Каждая клетка организма содержит молекулу ДНК, которая несет информацию для правильного воспроизведения новых клеток.

ДНК — это дезоксирибонуклеиновая кислота, состоящая из длинных, закругленных молекул в виде двойной спирали. Функция ее заключается в обеспечении синтеза большинства белковых молекул из которых состоят аминокислоты. Цепочка молекулы ДНК состоит из отдельных участков, которые кодируются специальными белками, образуя так называемый геном человека.

Радиация может либо убить клетку, либо исказить информацию в ДНК так, что со временем появятся поврежденные клетки. **Изменение генетического кода клетки называют мутацией.** Если мутация происходит в яйцеклетке или клетке спермы, последствия могут быть ощутимы и в последующих поколениях. Поэтому мутация, возникающая в половой клетке, называется генетической мутацией и может передаваться последующим поколениям.

Генные мутации подразделяются далее на доминантные (которые проявляются сразу в первом поколении) и рецессивные (которые могут проявиться в том случае, если у обоих родителей мутантным является один и тот же ген). Мутация в соматической клетке будет вызывать фенотипические изменения данного индивида. **Вызванные радиацией мутации не отличаются от естественных, однако при этом увеличивается сфера вредного воздействия.**

Описанные рассуждения основаны лишь на лабораторных исследованиях животных. Прямых доказательств радиационных мутаций у человека пока нет, т.к. полное выявление всех наследственных дефектов происходит лишь на протяжении многих поколений.

4. Биологические эффекты ионизирующего излучения.

Живой организм очень чувствителен к действию ионизирующей радиации. Чем выше на эволюционной лестнице стоит живой организм, тем он более радиочувствителен. Радиочувствительность — многосторонняя характеристика. "Выживаемость" клетки после облучения зависит одновременно от ряда причин: от объема генетического материала, активности энергообеспечивающих систем, соотношения ферментов, интенсивности образования свободных радикалов Н и ОН.

При облучении сложных биологических организмов следует учитывать процессы, происходящие на уровне взаимосвязи органов и тканей. Радиочувствительность у различных организмов варьируется довольно широко.

Организм человека, как совершенная природная система, еще более чувствителен к радиации. Если человек перенес общее облучение дозой 100-200 рад, то у него спустя несколько дней появятся признаки лучевой болезни в легкой форме. Средняя степень тяжести лучевой болезни наблюдается у лиц, подвергшихся воздействию излучения в 250-400 рад. При облучении дозой 400-600 рад развивается тяжелая форма лучевой болезни. Очень тяжелая форма лучевой болезни возникает при облучении дозой выше 600 рад.

Для лечения облученного организма современная медицина широко применяет такие методы, как кровезамещение, пересадка костного мозга, введение антибиотиков, а также другие методы интенсивной терапии.

Любой вид ионизирующих излучений вызывает биологические изменения в организме как при внешнем (источник находится вне организма), так и при внутреннем облучении (радиоактивные вещества попадают внутрь организма, например, с пищей или ингаляционным путем). Рассмотрим действие ионизирующего излучения, когда источник облучения находится вне организма.

Степень чувствительности различных тканей к облучению неодинакова. Если рассматривать ткани органов в порядке уменьшения их чувствительности к действию облучения, то получим следующую последовательность: лимфатическая ткань, лимфатические узлы, селезенка, зобная железа, костный мозг, зародышевые клетки. Большая чувствительность кроветворных органов к радиации лежит в основе определения характера лучевой болезни.

Важным фактором при воздействии ионизирующего излучения на организм является время облучения. С увеличением мощности дозы поражающее действие излучения возрастает. Чем более дробно излучение по времени, тем меньше его поражающее действие.

Внешнее облучение альфа-, а также бета-частицами менее опасно. Они имеют небольшой пробег в ткани и не достигают кроветворных и других внутренних органов. При внешнем облучении необходимо учитывать гамма- и нейтронное облучение, которые проникают в ткань на большую глубину и разрушают ее, о чем более подробно рассказывалось выше.

Биологические эффекты ионизирующего излучения:

I. Эффект естественного радиационного фона.

II. Эффект малых доз.

III. Эффект больших доз

Эффект естественного радиационного фона

Основным источником *естественного (природного) радиационного фона* является инертный газ *радон* (Rn-222). Радон и его дочерние продукты вносят 50%-ный вклад в фоновое облучение живых организмов. К другим источникам фона относятся различные *природные радионуклиды* (уран, радий, калий-40), а также *γ-излучение Земли и космическое излучение*.

Синдром дефицита облучения

Природный фон радиации оказывает значительное влияние на живые организмы. Эксперименты, проведенные с лабораторными животными, растениями и микроорганизмами, длительное время находившимися в условиях пониженного в несколько раз радиационного фона, показали тесную связь процессов жизнедеятельности и влияющего на них ионизирующего излучения. При этом замедлялся рост животных, они теряли в весе, становились менее активными и менее сообразительными. Отмечались признаки анемии и выраженного иммунодефицита, который сопровождался развитием инфекционных процессов и злокачественных опухолей. Морфологически в их тканях обнаруживались атрофические изменения, аналогичные ускоренному старению. Продолжительность жизни сокращалась.

Комплекс подобных признаков получил название **синдрома дефицита облучения**. В его основе лежит угнетение процессов клеточной **пролиферации** (разрастание ткани организма). **Радиационный фон, таким образом, является стимулятором деления клеток, и, следовательно, процессов роста, обновления и восстановления тканей, одним из механизмов поддержания структурного гомеостаза.**

Эффект малых доз (радиационный гормезис)

В диапазоне дозы в пределах до 10- и даже 100-кратного превышения над фоном (в среднем 5—10 раз) повреждающее влияние радиации на организм человека не прослеживается. Напротив, отмечается выраженное биостимулирующее действие. Такой эффект получил название **радиационного гормезиса** — повышения жизнеспособности организма под влиянием малых доз ионизирующей радиации. Радиационный гормезис был установлен в ряде мест на Земле, где γ -фон превышает в 2—10 раз средний по планете. В этих районах смертность от злокачественных новообразований соответствует среднему уровню в популяции. Проявлением радиационного гормезиса является также эффект **радонотерапии**.

Для различных живых организмов малые дозы не одинаковы. Для человека малые дозы — 4—5 рад (эту дозу человек получает за всю жизнь с естественным фоном). Малая доза тем выше, чем более радиорезистентны организмы. Значительной радиорезистентностью обладают обитатели степей и пустынь, например, песчанки (грызуны) и скорпионы. Растения очень высокоустойчивы к радиации (полуметаллическая доза для них измеряется сотнями и тысячами Гр), в особенности это относится к сухим семенам растений, некоторым водорослям, а также спорам бактерий и грибам, переносящим без заметного вреда до 10.000 Гр и более. Другими словами, малая доза радиации для растений является абсолютно смертельной для всех животных и человека.

У млекопитающих и человека малые дозы радиации стимулируют антибластомные (противоопухолевые) и противинфекционные защитные механизмы, увеличивают долголетие и плодовитость. Установлено, что малая доза ионизирующего излучения способствует репарации повреждений ДНК, поэтому эффект малых доз обеспечивает выбраковку мутантных, в том числе предзлокачественных, клеток. Обнаружены гены, ответственные за этот процесс.

В некоторых районах Земли естественный радиационный фон в десятки раз превышает средний планетарный уровень. В таких зонах с высокой природной радиоактивностью вредных последствий для здоровья населения не обнаружено. Наоборот, жители этих районов имеют более высокую среднюю продолжительность жизни и меньше болеют раком. Кроме того, у тех жителей Хиросимы и Нагасаки, которые получили во время атомной бомбардировки малую дозу радиации, не отмечено роста заболеваемости злокачественными опухолями.

Эффект больших доз

Эффект больших доз сопровождается радиогенным повреждением различных органов и тканей. Поражения одних органов более тяжёлые, других — выражены в меньшей степени. Облучение организма не сопровождается какими-либо ощущениями. Радиочувствительность (радиосенситивность) тканей определяется **законом Бергонье—Трибондо: она прямо пропорциональна пролиферативной (разрастание ткани организма) активности клеток и обратно пропорциональна степени их дифференцировки. Кроме того, эффекты больших доз подразделяют на ранние и поздние. К ранним эффектам относятся гибель людей вследствие острой лучевой болезни (например, 28 погибших из 134 заболевших при аварии на Чернобыльской АЭС), разрушение тканей при локальном облучении, к поздним эффектам — развитие онкологических и наследственных заболеваний. Максимальная частота так называемых дополнительных (избыточных) смертей от индуцированных облучением лейкозий приходится на 3—5-й годы после воздействия**

большой дозы радиации, а радиогенных солидных опухолей — на 9—11-й годы после воздействия. Для объяснения влияния ионизирующей радиации на живые организмы до настоящего времени используется **линейная беспороговая концепция**. Эта гипотеза предполагает, что любая сколь угодно малая доза опасна для здоровья. **Однако эффекты естественного фона и малых доз не укладываются в рамки положений линейной беспороговой концепции.**

5. Лучевая болезнь.

Лучевая болезнь — заболевание, развивающееся при тотальном или субтотальном облучении организма в больших суммарных дозах.

Классификация

Различают следующие формы лучевой болезни:

1. *Острая лучевая болезнь* — заболевание, развивающееся при тотальном или субтотальном облучении организма в больших дозах, как правило, 1 Гр и более.
2. *Хроническая лучевая болезнь* развивается в результате длительного, часто многократного облучения в относительно низких дозах, однако заметно превышающих предельно допустимые.

Клинико-морфологическая классификация.

Основой данной классификации является величина поглощённой дозы.

Острая лучевая болезнь может протекать в виде следующих четырёх клинико-морфологических форм [по А. К. Гуськовой]:

1. *Костномозговая форма* развивается при воздействии радиации в дозе 1—10 Гр (прогноз различный).
2. *Кишечная форма* развивается при воздействии радиации в дозе 10—20 Гр (прогноз абсолютно неблагоприятный). Изменения в кишечнике приводят к смерти в течение нескольких дней (обычно на 10—14-е сутки), до развития глубоких нарушений в органах кроветворения.
3. *Токсемическая (сосудистая) форма* развивается при воздействии радиации в дозе 20—80 Гр (прогноз абсолютно неблагоприятный).
4. *Церебральная форма* развивается при воздействии радиации в дозе более 80 Гр (прогноз также абсолютно неблагоприятный).

Кишечную, токсемическую и церебральную формы лучевой болезни объединяют понятием **острейшая лучевая болезнь**. При токсемической и церебральной форме летальный исход наступает через несколько часов или суток.

Костномозговая форма подразделяется по степени тяжести на 4 варианта:

- *Лёгкая форма (I степень)* — обычно развивается при облучении в дозе 1—2 Гр (прогноз абсолютно благоприятный).
- *Форма средней тяжести (II степень)* — обычно при облучении в дозе 2—4 Гр (прогноз относительно благоприятный).
- *Тяжёлая форма (III степень)* — обычно при облучении в дозе 4—6 Гр (прогноз сомнительный).
- *Крайне тяжёлая (смертельная) форма (IV степень)* — обычно при облучении в дозе 6—10 Гр (прогноз неблагоприятный).

Формы лучевой болезни в зависимости от особенностей облучения

В зависимости от особенностей облучения выделяют следующие формы острой и хронической лучевой болезни:

Острая лучевая болезнь

1. Вследствие внешнего равномерного облучения (влияние внешнего импульсного общего гамма-нейтронного облучения).

2. Вследствие внешнего равномерного пролонгированного облучения (внешнее общее гамма-нейтронное облучение длительностью от нескольких часов до 10 суток).
3. Вследствие неравномерного облучения (внешнее импульсное субтотальное облучение или облучение преимущественно одного из сегментов тела).

Хроническая лучевая болезнь

1. Вследствие внешнего равномерного облучения (длительное внешнее общее облучение в низких дозах).
2. Вследствие преимущественно местного облучения (длительное частичное облучение в низких дозах или внутреннее облучение при инкорпорировании радионуклидов). Картина болезни при этом зависит от преимущественного поражения критического органа.
3. Вследствие сочетанного общего и местного облучения.

Контрольные вопросы:

1. В чем различия между внутренним и внешним облучением организма?
2. Как распределяются радиоактивные элементы в организме? Что такое критический орган?
3. В чем заключаются физико-химические изменения, возникающие в организме?
4. Каково воздействие ионизирующего излучения на отдельные органы и организм в целом?
4. Каковы биологические эффекты ионизирующего излучения?
5. Расскажите классификацию и формы лучевой болезни?

Литература:

1. Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2007.
2. Ильенко А.И., Криволицкий Д.А. Радиоэкология. М. Знание, 1971.
3. Сахаров В.К. Радиоэкология. СПб.: Издательство «Лань», 2006.
4. Сафонова В.Ю., Сафонова В.А. Радиационная экология. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2005.
5. Гродзенский Д.Э. Радиобиология. Биологическое действие ионизирующих излучений. — М.: Атомиздат, 1966.

ЛЕКЦИЯ 5. «БИОИНДИКАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ИНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ».

1. *Понятие, виды и методы биоиндикации.*
2. *Особенности использования растений в качестве биоиндикаторов*
3. *Особенности использования животных в качестве биоиндикаторов*
4. *Особенности использования микроорганизмов в качестве биоиндикаторов.*
5. *Симбиологические методы в биоиндикации.*
6. *Использование ионизирующих излучений в сельском хозяйстве.*
7. *Излучение в медицине.*

Биологический контроль окружающей среды включает две основные группы методов: биоиндикацию и биотестирование.

Методами биоиндикации и биотестирования определяется присутствие в окружающей среде того или иного загрязнителя по наличию или состоянию определенных организмов, наиболее чувствительных к изменению экологической обстановки, т.е. обнаружение и определение биологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакции живых организмов и их сообществ. Таким образом, применение биологических методов для оценки среды подразумевает выделение видов животных или растений, чутко реагирующих на тот или иной тип воздействия. Методом биоиндикации с использованием подходящих индикаторных организмов в определенных условиях может осуществляться качественная и количественная оценка (без определения степени загрязнения) эффекта антропогенного и естественного влияния на окружающую среду.

1. Понятие, виды и методы биоиндикации

Биоиндикация - оценка качества среды обитания и ее отдельных характеристик по некоторому индикаторному показателю биоты в природных условиях. В качестве биоиндикаторов выступают отдельные единицы, экологические группировки (например, в водной среде - фитопланктон, зоопланктон, бентос, перифитон), физиологически сходные организмы (например, имеющие одинаковый тип питания), размерные группы. Отклонение индикаторного биотического показателя от некоторой заданной нормы говорит о превышении уровня допустимого воздействия неорганических факторов.

Биондикация - это метод обнаружения и оценки воздействия неорганических и органических факторов на живые организмы при помощи биологических систем.

Основной задачей биоиндикации является разработка методов и критериев, которые могли бы адекватно отражать уровень антропогенных влияний с учетом комплексного характера загрязнения и определять ранние нарушения в наиболее чувствительных компонентах живых сообществ. Биоиндикация может проводиться на макромалекулярном уровне, клетки, организма, популяции, сообщества и экосистемы. Чувствительными биоиндикаторами могут служить как отдельные процессы в клетке и организме, так и внешние изменения.

Виды методов биоиндикации: регистрирующая биоиндикация и биоиндикация по аккумуляции.

Регистрирующая биоиндикация позволяет судить о воздействии факторов среды по состоянию особей вида или популяции, а **биоиндикация по аккумуляции** использует свойство растений и животных накапливать различные химические вещества. В соответствии с этими методами различают регистрирующие и аккумуляционные индикаторы.

Какой бы совершенной ни была аппаратура для контроля загрязнения и определения вредных веществ в окружающей среде, она не может сравниться со сложно устроенным «живым прибором». Регистрирующие индикаторы реагируют на любые изменения в

окружающей среде изменением своей численности, индивидуального облика, повреждениями тканей, наличием всевозможных дефектов, изменением роста и т.д. Но не всегда возможно установить причины изменений, так как биоиндикаторы показывают комплексное влияние на них вредных примесей. Это один из основных недостатков биоиндикации. С помощью биоиндикаторов можно получить информацию о биологических последствиях и сделать только косвенные выводы об особенностях самого фактора. В то же время физические и химические методы дают количественные и качественные характеристики фактора, но позволяют лишь косвенно судить о его биологическом действии.

Биологические методы помогают определять негативные изменения в природной среде при низких концентрациях загрязняющих веществ. **При этом используемые виды-биоиндикаторы должны удовлетворять следующим требованиям:**

- а) это должны быть виды характерные для природной зоны, где располагается данный объект;
- б) они должны распространяться на всей изучаемой территории;
- в) иметь большую численность в исследуемом месте;
- г) обитать в данном месте долгое время;
- д) находиться в условиях, удобных для отбора проб;
- е) давать возможность проводить анализы без концентрирования проб;
- ж) они должны иметь четкую количественную и морфологическую реакцию на отклонение свойств среды обитания от экологической нормы;
- з) виды-индикаторы должны быть хорошо изучены;
- и) иметь короткий период индивидуального развития.

С помощью биоиндикаторов принципиально возможно:

- а) находить места скоплений в экологических системах различных загрязнений;
- б) пронаблюдать скорость изменений происходящих в окружающей среде;
- в) только биоиндикаторы могут показать степень вредности определенных веществ для живой природы;
- г) показать прогноз дальнейшего развития экосистемы.

Биоиндикаторы имеют ряд преимуществ перед химическими методами оценки состояния окружающей среды:

1. они суммируют влияние всех биологически значимых воздействий и показывают состояние окружающей среды в целом, включая ее загрязнение и другие антропогенные влияния;
2. в условиях постоянных антропогенных воздействий биоиндикаторы могут реагировать даже на очень слабые воздействия вследствие накопительного эффекта;
3. исключают необходимость записи физических и химических параметров, показывающих состояние окружающей среды;
4. делают необязательным применение дорогих и трудоемких физических и химических методов для измерения биологических характеристик;
5. живые организмы все время находятся в окружающей человека среде и реагируют на короткие и залповые выбросы вредных веществ, которые можно не записывать при помощи автоматической системы контроля с периодическим сбором проб на анализы;
6. фиксируют скорость происходящих в окружающей среде изменений;
7. показывают тенденции развития природной среды;
8. показывают пути и места скоплений в экологических системах различных токсинов и возможные пути их попадания в пищу человека;
9. позволяют сделать вывод о степени токсичности любых создаваемых человеком веществ для живой природы и для него самого, причем дают возможность контролировать их действие;
10. помогают нормировать допустимую нагрузку на экосистемы, различающиеся по своей устойчивости к человеческому воздействию, так как одинаковый состав и объем за-

грязнений может привести к различным реакциям природных систем в разных географических зонах.

Использование живых организмов в качестве биологических индикаторов на изменение среды вызывает необходимость разработки ряда критериев, на основе которых можно подбирать индикаторные виды. Поскольку чувствительность разных организмов, используемых при биоиндикации, может существенно различаться по времени реакции на один и тот же фактор среды, выделяются следующие типы чувствительности биоиндикаторов.

2. Особенности использования растений в качестве биоиндикаторов.

С помощью растений можно проводить биоиндикацию всех природных сред. Индикаторные растения используются при оценке механического и кислотного состава почв, их плодородия. Увлажнения и засоления, степени минерализации грунтовых вод и степени загрязнения атмосферного воздуха газообразными соединениями, а также при выявлении трофических свойств водоемов и степени их загрязнения поллютантами и радиоактивными веществами. Чувствительные растительные индикаторы указывают на присутствие загрязняющего вещества в воздухе или почве ранними внешними реакциями - изменением окраски листьев, различной формы омертвления, ранним увяданием и опадением листьев. У многолетних растений токсины и радионуклиды вызывают изменение размеров, формы, количества органов, направление роста побегов или изменение плодовитости. Подобные реакции обычно неспецифичны.

Индикаторы другого типа представляют собой растения-накопители. Они накапливают в своих тканях токсины или вредные продукты метаболизма, образуемые под воздействием токсинов или радионуклидов, без видимых изменений. При превышении порога ядовитости вещества для данного вида проявляются различные ответные реакции, выражающиеся в изменении скорости роста и длительности фенологических фаз, биометрических показателей и, в конечном счете, снижение продуктивности. Очень часто в целях биоиндикации используются различные аномалии роста и развития растения - отклонение от общих закономерностей. Гигантизм и карликовость многие исследователи считают уродствами.

3. Особенности использования животных в качестве биоиндикаторов.

Позвоночные животные также служат хорошими индикаторами состояния среды благодаря следующим особенностям:

а) являясь консументами, они находятся на разных пищевых уровнях экосистем и накапливают через пищевые цепи токсины и радионуклиды;

б) имеют быстрый обмен веществ, что способствует скорейшему проявлению воздействия вредных факторов среды на организм;

в) имеются хорошо дифференцированные ткани и органы, которые обладают разной способностью к аккумуляции ядовитых веществ и неопределенностью физиологического ответа, что позволяет исследователю иметь большой набор тестов на уровне тканей, органов и функций;

г) сложные приспособления животных к условиям среды и четкие поведенческие реакции наиболее чувствительны к антропогенным изменениям, что дает возможность наблюдать и анализировать быстрые отклики на оказываемое воздействие;

д) животных с коротким циклом развития и большим потомством можно использовать для проведения длительных наблюдений и просматривать воздействие фактора на следующие поколения.

Основное преимущество использования позвоночных животных в качестве биоиндикаторов заключается в их физиологической близости к человеку. Основные недостатки связанные со сложностью их обнаружения в природе, поимки, определение вида, а также

с длительностью морфо-анатомических наблюдений. Кроме того, эксперименты с животными зачастую дороги, требуют многократной повторяемости для получения статистически достоверных выводов.

Поведенческие и физиолого-биохимические параметры особенно чувствительны к изменению внешней среды. Вредные вещества, в том числе и радионуклиды, проникая в кости или кровь позвоночных животных, сразу же воздействуют на функции, жизнеобеспечения.

Критерии пригодности различных видов млекопитающих для биоиндикационных исследований:

1. принадлежность к разным звеньям пищевой цепочки - травоядным, насекомоядным, хищникам;
2. оседлость или отсутствие больших миграций;
3. широкое распространение и обитание;
4. принадлежность к естественным сообществам;
5. значительная численность вида;
6. простота и доступность методов отлова видов.

4. Особенности использования микроорганизмов в качестве биоиндикаторов.

Микроорганизмы - наиболее активно реагирующие на изменение окружающей среды биоиндикаторы. Их развитие и активность находятся в прямой связи с составом органических и неорганических веществ в среде, так как микроорганизмы способны перерабатывать соединения естественного и антропогенного происхождения. На этом основаны принципы биоиндикации с использованием микроорганизмов. Нужно иметь данные о составе, количестве и функциональной активности микробов. При непосредственном микроскопировании, например воды, количество находящихся микробов оказывается незначительным, поэтому для изучения внешнего разнообразия и оценок их общего числа в единице объема проводят концентрирование пробы. Для фильтрации воды используют фильтры Зейтца.

В большинстве случаев для оценки качества вод используют показатель микробного числа - это число клеток аэробных сапрофитных организмов в 1 мл воды. В водопроводной воде согласно ГОСТ микробное число не должно превышать 100. В чистых водоемах число сапрофитов может быть десятки и сотни, а в загрязненных и грязных водоемах их количество может достигать сотен тысяч и миллионов. Помимо микробного числа используются данные по видовому составу микробов.

5. Симбиологические методы в биоиндикации.

Симбиоз очень распространен в природе, а симбиотические группы часто играют ключевую роль в поддержании оптимального функционирования наземных, пресноводных и морских экосистем.

Помимо уточнения оценки биоразнообразия по количеству видов учет симбионтов позволяет получать достоверную информацию о качестве среды, так как степень интенсивности нашествия и экстенсивность нашествия напрямую зависят от условий, в которых находится популяция хозяев. Многие симбионты чувствительны к внешним изменениям окружающей среды, в частности симбионты водных организмов - к загрязнению и опреснению, а симбионты наземных организмов - к радионуклидам. При оценке разнообразия фауны симбионтов широко используют статистические методы. Учет симбиотических, в том числе и паразитических, организмов, а также исследование состояния симбиотических ассоциаций позволяют более точно оценить биоразнообразие и характер динамических процессов в экосистемах и могут быть рекомендованы в качестве важных элементов экодиагностических исследований.

6. Использование ионизирующих излучений в сельском хозяйстве.

Исследование действия радиации на живые объекты в зависимости от дозы, мощности облучения и состояния облучаемого объекта послужило основой разработки и внедрения в сельское хозяйство **радиационно-биологической технологии (РБТ)**. В качестве источников излучения используют гамма-установки с радионуклидами ^{60}Co и ^{137}Cs , ускорители электронов, а также источники излучения, связанные с ядерными реакторами. Наиболее широкое применение в РБТ получили источники радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs . Они имеют длительный период полураспада, сравнительно высокую проникающую способность гамма-излучения, которая не дает наведенной радиоактивности в облучаемых объектах. Физико-механические свойства источников этих радионуклидов позволяют длительно эксплуатировать элементы в радиационно-биологических установках. Эти источники можно приобретать в необходимом количестве и располагать радиационно-биологическую установку на любом расстоянии от ядерного реактора.

Использование мутагенного действия ионизирующих излучений в селекционно-генетических исследованиях

Под влиянием ионизирующих излучений легко возникают хромосомные и генные, или точечные, мутации. Хромосомные мутации, как правило, приводят к смертельному исходу; они имеют значение в стерилизующем эффекте радиации. Для радиационной селекции важное значение приобретают генные мутации. При облучении в ДНК возникают повреждения, которые изменяют генетический код, т. е. ведут к образованию генных мутаций. На основе радиационного мутагенеза в растениеводстве успешно решаются вопросы получения высокоурожайных, устойчивых к неблагоприятным условиям среды и действия патогенных вредителей новых сортов сельскохозяйственных растений. Селекционеры почти в 5 раз сократили срок выведения новых сортов ячменя и пшеницы, используя мутагенный эффект гамма-облучения.

С помощью радиомутации удалось вывести новую разновидность тутового шелкопряда с бошей выработкой шелкового волокна, выведена новая порода норки с серебристым цветом меха.

Еще один пример - использование методов радиационной селекции для получения новых форм микроорганизмов - возбудителей заболеваний у вредителей сельскохозяйственных культур.

Комбинированным воздействием радиации и химических мутагенов выведено много штаммов высокоактивных плесневых грибов - вырабатывающих пенициллин, стрептомицин, ауреомицин, эритромицин и альбомицин, которые сейчас широко используются в фармацевтической промышленности. Это положительное влияние перешло и на другие отрасли микробиологической промышленности для получения высокоактивных производителей витаминов, различных ферментов и органических кислот.

Большой интерес представляют изменения способности микроорганизмов образовывать токсины под действием ионизирующих излучений. Эти изменения могут быть стойкими, передаваться по наследству. Такие авирулентные мутанты используются для разработки вакцин.

Стимулирующее действие ионизирующих излучений.

В определенном диапазоне доз радиация обладает стимулирующим действием. Такая стимуляция обнаруживается у всех живых объектов, начиная с примитивных заканчивая высокоорганизованными растениями и животными.

Радиационное облучение растений приводит к активации многих обменных процессов: усиливается образование нуклеиновых кислот, белков, гормонов, повышается актив-

ность некоторых энзимов, увеличивается поступление в растения питательных веществ. Все это приводит в итоге к ускорению роста и развития растений.

Заметим, что растения, выращенные из облученных семян по интенсивной технологии, лучше и больше используют минеральные удобрения.

Стимулирующее действие ионизирующих излучений используют при разведении лекарственных растений, для ускорения роста и увеличения выхода лекарственно-ценного вещества (алкалоидов и др.).

Использование ионизирующих излучений для повышения хозяйственно полезных качеств птицы.

Механизм стимулирующего действия малых доз ионизирующих излучений на организм животных не существенно отличается от действия на растения. Однако следует заметить, что роль специфических гормонов, производящих запуск характерных метаболических процессов, которые обуславливают ускорение развития, выполняют гормоны животных, и в первую очередь, это стероидные гормоны, контролирующие эти процессы. О стимулирующем действии радиации на животный организм можно судить по ускорению или повышению роста, развития, продуктивности.

Радиационная стерилизация животных и насекомых-вредителей.

Также радиацию используют для половой стерилизации самок сельскохозяйственных животных при откорме с целью повышения их продуктивности. В настоящее время успешно применяют механическую стерилизацию (кастрацию) самцов. Стерилизацию же самок (свинок) используют в гораздо реже в связи с тем, что при механическом методе возможны различные осложнения.

Разработка лучевых способов стерилизации животных позволит избежать недостатков, присущих хирургическим методам кастрации.

Эффективнее всего радиационная стерилизация применяется в борьбе с насекомыми-вредителями. В основе метода лежит различие в радиочувствительности соматических и половых клеток. Под влиянием определенной дозы радиации у насекомых некоторых видов соматические клетки не затрагиваются, а половые повреждаются, но при этом сохраняется возможность облученных насекомых к спариванию.

При стерилизации самцов жизненный цикл насекомых будет нарушен. При множественном повторении приема в течение нескольких лет удастся полностью уничтожить вид в определенном регионе.

Главное преимущество этого метода в том, что он направлен против насекомых одного конкретного вида. К тому же он не опасен для животных, человека, а также других объектов биосферы, т. е. экологически чистый.

Большое значение в борьбе с насекомыми-вредителями приобретает радиационная дезинсекция зерна. Ее преимущества: исключается загрязнение окружающей среды; в облученном зерне нет остатков ядохимикатов; полностью уничтожаются насекомые-вредители; не меняется качество продукции; процесс легко можно механизировать и автоматизировать, он не трудоёмок и экономически выгоден.

Одно из направлений радиационной половой стерилизации - технология генетического определения пола. Экономически выгоднее и лучше облучать самцов насекомых, поскольку затраты на разведение самок гораздо большие. Задача этой технологии состоит в создании устойчивости к смертельному действию радиации и в передаче этого генетического фактора устойчивости мужской хромосоме, определяющей род потомства. Отбор на основе смертельного действия на раннем этапе онтогенеза насекомых приводит к уничто-

жению самок насекомых. Ионизирующие излучения перспективно применять в шелководстве для промышленного получения гусениц мужского пола.

Использование бактерицидного действия ионизирующих излучений для обеззараживания и продления сроков хранения продукции животноводства и растениеводства.

Одно из перспективных направлений использования ионизирующих излучений - радиационная обработка мяса и мясных продуктов с целью удлинения сроков хранения и обеззараживания при некоторых заболеваниях. Разработана радиационная технология обработки и хранения мясной продукции на основе методов пастеризации и стерилизации. Радиационные методы хранения мясной продукции обладают большими преимуществами: можно увеличить сроки хранения и дополнительно уменьшить потери при хранении и транспортировке; нет интоксикации химическими препаратами; возможна обработка продукта в любой упаковке, в том числе из полимерных материалов; можно механизировать и автоматизировать весь технологический процесс.

Повышение дозы облучения приводит к полной стерилизации, но при этом изменяются запах и вкусовые качества мяса вследствие радиохимического распада. В некоторых странах постоянно используют рентгеновское и гамма-излучение для стерилизации пластиковой или картонной упаковки, в которой хранят молоко.

7. Излучение в медицине.

Медицинские процедуры и методы лечения, которые связаны с применением радиоактивного излучения, вносят основной вклад в годовую дозу радиации среди техногенных источников радиации. Различают три самостоятельных направления применения радиации в медицине.

1. Использование излучения в диагностических целях. Наиболее распространенным из них являются рентгеновские лучи. Принцип рентгенографии основан на способности рентгеновских лучей, проходить сквозь человеческий организм. Как правило, они легче проходят сквозь мягкие ткани и труднее сквозь кости. Результат фиксируется на фотопленке или мониторе компьютера. В развитых странах в среднем каждый человек раз в два года проходит рентгеновские обследования, не считая рентгенологических обследований зубов и массовой флюорографии. В большинстве стран около половины обследований приходится на долю грудной клетки, но по мере уменьшения заболевания туберкулезом интенсивность массовых обследований снижается.

Развитие компьютерной техники позволило совместить рентгеноскопию с современными методами обработки информации. Компьютерная томография находит все более широкое применение. В настоящее время разработан новый метод диагностики на основе ядерно-магнитного резонанса. В таких установках используют не рентгеновское излучение, а очень интенсивное магнитное поле и электромагнитные волны радиочастотного диапазона.

2. Введение- радиоактивных изотопов в организм человека. Метод основан на регистрации излучения снаружи организма после того, как изотопы сконцентрируются в определенном органе, расположенном в глубине тела.

Область использования радиоактивных веществ для диагностики или лечения называют радиоизотопной медициной. Величину излучения оценивают с помощью счетчиков и определяют локализацию, количество и характер распределения введенного изотопа. Благодаря высокой чувствительности счетчиков, определяющих излучение, в организме человека вводят очень небольшое количество радиоактивных веществ, что не нарушает нормального равновесия веществ.

3. В настоящее время ионизирующие излучения используют для борьбы со злокачественными болезнями. Лучевая терапия основана на способности рентгеновских лучей (или других видов ионизирующих излучений) воздействовать на клетки биологической

ткани посредством устранения их способности к делению и размножению. Успешное лечение зависит от точного направления луча и обеспечения строгого режима облучения дозами, распределенными в течение длительного периода времени. В мире насчитывается несколько тыс. радиотерапевтических установок, которые используются для лечения рака. Суммарные дозы для каждого человека довольно велики, однако их получает небольшое число людей. В связи с этим их вклад в коллективную дозу незначителен. Средняя эффективная эквивалентная доза, получаемая от всех источников облучения в медицине в промышленно развитых странах около 1 мЗв на каждого жителя, т.е. примерно половина средней дозы от естественных источников. Этот показатель неодинаков в различных странах и определяется уровнем социального развития страны, доступностью медицинской помощи и охвата населения медицинскими мероприятиями, материально-технической базой рентгенологической службы, т.е. качеством и конструктивными особенностями рентгеновской аппаратуры.

Другие примеры использования радиоизотопов в медицине:

- натрий-24 - позволяет определять скорость кровотока и проницаемости сосудов;
- калий-42 - индикатор биологических процессов;
- стронций-85 - используется в аппликаторах при лечении кожных и глазных болезней;
- технеций-99 - применяется для визуализации внутренних органов (изучение функционального состояния щитовидной железы, слюнных желез, сердца, крупных сосудов, скелета, опухолей головного мозга, для исследования печени, почек и др.). Полученная при этом доза примерно равна дозе от рентгеновского излучения при рентгеновских исследованиях;
- кобальт-60 - применяется в терапии и как индикатор;
- цезий-137 - применяется в терапии;
- углерод-14 - медико-биологические исследования;
- индий-111, 113 - используется для диагностики путем скенирования печени (при диагностике гепатита и цирроза), полостей сердца, ангиография почек.

Контрольные вопросы:

1. Определение, задачи и методы биоиндикации?
2. Требования к видам-биоиндикаторам, их преимущества?
3. Каковы особенности использования растений в качестве биоиндикаторов?
4. Каковы особенности использования животных в качестве биоиндикаторов?
5. Каковы особенности использования микроорганизмов в качестве биоиндикаторов?
6. Каковы симбиологические методы в биоиндикации?
7. Как используется ионизирующих излучений в сельском хозяйстве?
8. Как используется ионизирующих излучений в медицине?

Литература:

1. Криволицкий Д.А. Радиоэкология сообществ наземных животных. М. Энергоатомиздат, 1983.
2. Тюменев Р.С., Бадрутдинов О.Р. Радиоэкологические исследования окружающей среды. Методические указания для практических занятий студентов. Казань, 1998.
3. Сахаров В.К. Радиоэкология. СПб.: Издательство «Лань», 2006.
4. Криволицкий Д.А. Биоиндикация радиоактивных загрязнений. М.: Наука, 1999.
5. Криволицкий Д.А. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз / Криволицкий Д.А., Тихомиров Ф.А., Федоров Е.А., Покаржевский А.Д., Таскаев А.И. М. Наука, 1988.
5. Гродзенский Д.Э. Радиобиология. Биологическое действие ионизирующих излучений. – М.: Атомиздат, 1966.

ЛЕКЦИЯ 6. «ИСТОЧНИКИ И ПУТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В БИОСФЕРУ».

1. *Радиационное загрязнение биосферы.*
2. *Технологически измененный естественный радиационный фон.*
3. *Загрязнение биосферы радионуклидами, образовавшимися при испытаниях ядерного оружия.*
4. *Загрязнение радионуклидами, поступающими в биосферу при работе предприятий.*

Первичные радионуклиды делят на две группы: радионуклиды уранового и ториевого семейств и радионуклиды, располагающиеся вне этих радиоактивных семейств.

В первую группу входят 32 радионуклида, среди которых такие долгоживущие нуклиды, как торий-232 (период полураспада 14,1 млрд. лет), уран-238 (4,51 млрд. лет), уран-235 (710 млн. лет), радий-226 (1602 года), свинец-210 (22,3 года) и др.; **во вторую группу - 11 долгоживущих радионуклидов**, которые находятся в различных объектах среды с момента образования Земли и имеют период полураспада от 10^7 до 10^{15} лет (калий-40, рубидий-87 и др.).

Из первичных радионуклидов основной вклад в дозу внешнего облучения вносят гамма-излучающие нуклиды уранового и ториевого рядов, а также калий-40. Содержание этих элементов весомо зависит от типа горных пород.

1. Радиационное загрязнение биосферы.

В связи с индустриализацией в природную среду превносятся сегодня в больших количествах естественные радионуклиды (их насчитывается более 60), извлекаемые из глубин земли вместе с углем, газом, нефтью, минеральными удобрениями, строительными материалами и др. Кроме этого, в биосфере в результате человеческого влияния появилось огромное количество искусственных радионуклидов (несколько сотен) и источников излучения.

2. Технологически измененный естественный радиационный фон.

Этот понятие используют для характеристики изменения естественного радиационного фона под влиянием хозяйственной деятельности человека. В него не включают поступившие в окружающую среду искусственные радиоактивные вещества от испытаний ядерного оружия и от работы предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Используется Единица активности – беккерель, Бк. 1 Бк равен одному ядерному превращению (распаду) за 1 секунду: $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с}$. Однако к нему относят такие источники, как геотермические электростанции, создающие в среднем выброс около $4 \cdot 10^{14}$ Бк Rn-222 на 1 ГВт/год выработанной электроэнергии; дополнительное облучение при полетах в самолете; радий-226, прометий-147 и тритий, используемые для светосоставов постоянного действия; а также электронные и электрические устройства, содержащие радионуклиды или излучающие рентгеновское излучение; радионуклид Po-210, используемый для снятия статического заряда в некоторых производствах; пожарные дымовые детекторы, содержащие Ra-226, Pu-238 или Am-241; керамическая и стеклянная посуда, содержащая уран и торий и др.

Уголь, сжигаемый в промышленных энергетических установках или жилых домах, содержит естественные радиоактивные K-40, а также U-238 и Th-232 в равном количестве с их продуктами распада. В угольной золе содержится в среднем такая удельная активность, Бк/кг: 265 - ^{40}K ; 200 - ^{238}U ; 240 - ^{226}Ra ; 930 - ^{210}Pb ; 1700 - ^{210}Po ; 70 - ^{232}Th ; 110 - ^{238}Th и 130 - ^{228}Ra . Количество выброшенных в атмосферу радионуклидов зависит от зольности угля и эффективности очистных фильтров сжигающих устройств. ТЭС различного типа выбрасывают в атмосферу от 1 до 20 % общего количества образующейся золы. Индиви-

дуальная средняя доза облучения в районе ТЭС электрической мощностью 1 ГВт (район радиусом 20 км, площадью около 1000 км²) составляет 5,3 мкЗв/год, при этом костный мозг накапливает 145 мкЗв, легкие - 420 мкЗв, костная ткань - 1140 мкЗв.

Удобрения, применяемые в сельском хозяйстве, содержат немалое количество радионуклидов, которые после внесения их в грунт проходят по пищевым звеньям и поступают в живые организмы. Мировая добыча фосфатных руд составляет около 1,3 млн. тонн в год. Одними из самых чистых в мире считаются отечественные удобрения, однако это связано не с технологией их производства, а с качеством используемых пород.

Нефть. Сама нефть не содержит радионуклидов в опасных количествах, но при бурении скважин может извергаться на поверхность шлам содержащий радионуклиды. В водонефтяной оторочке возникают благоприятные условия для осаждения и накопления радия, что может загрязнять как инструменты, так шлам, который добывается из скважины. Шлам – это горные породы + вещества, используемые для промывки инструментов и извлечения породы из скважины.

Находясь в контакте с радиоактивными изотопами человек поглощает радиацию. Поглощенная доза излучения = отношению средней энергии DE, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе Dm вещества в этом объеме. Единица измерения поглощенной дозы служит грэй, Гр. 1 Гр = 1 Дж/кг. Единица эквивалентной дозы – зиверт, Зв. 1 Зв = 1 Дж/кг. Зиверт равен дозе излучения любого вида, производящей такое же биологическое действие, как и доза образцового рентгеновского излучения в 1 Гр. Эквивалентная доза излучения введена для оценки возможного ущерба здоровью человека от постоянного действия ионизирующего излучения при значении эквивалентной дозы за календарный год не более 5 предельно допустимых доз (ПДД), то есть не более 250 мЗв в год. Эквивалентная доза = произведению поглощенной дозы на средний коэффициент качества k ионизирующего излучения в данном элементе объема биологической ткани.

Предметы широкого потребления являются дополнительным источником облучения человека. Мягкое рентгеновское излучение телевизора создает на расстоянии 250 см от экрана мощность дозы, = 0,003 мкГр/час, а на расстоянии 5 см от экрана - 100 мкГр/час.

3. Загрязнение биосферы радионуклидами, образовавшимися при испытаниях ядерного оружия.

Испытания ядерного оружия в атмосфере были начаты США в 1945 г. Наиболее частые испытания пришлось на период с 1954 по 1958 гг. и с 1961 по 1962 гг. В первый период большую часть испытаний провели США, во время второго периода - Советский Союз. В 1963 г. большинство стран подписали Договор об ограничении испытаний ядерного оружия (кроме подземных). После этого лишь Франция и Китай провели серию испытаний ядерного оружия в атмосфере (последнее из них - в 1980 г.).

С 1945 по 1980 г. было испытано в атмосфере 423 ядерных устройств различных типов и мощности. Общая мощность взорванных в атмосфере ядерных устройств эквивалентна 545,5 Мт тринитротолуола (тротилового эквивалента) – в пересчете на мощность бомбы, сброшенной на Хиросиму (20 кт), - это 27 275 хиросимских бомб.

В момент взрыва первоначальная смесь продуктов деления содержит до нескольких сотен радионуклидов, большинство из которых имеет ничтожную концентрацию или из-за короткого периода полураспада быстро распадается. Кроме первичных радионуклидов в окружающей среде образуется значительное количество вторичных радионуклидов в результате активации вещества среды нейтронами, испускаемыми при взрыве. В радиоактивных продуктах взрыва также присутствует в мелкодисперсной форме большое коли-

чество неразделившихся ^{238}U , ^{235}U и ^{239}Pu . Почти каждый изотоп является родоначальником цепочки распада с образованием радиоактивных промежуточных продуктов.

Основной вклад в формирование дозы облучения людей вносят долгоживущие радионуклиды. После атмосферного взрыва около 50 % образовавшихся активных продуктов выпадают в районе полигона (в радиусе около 100 км) на геосферную или гидросферную поверхность (площадью примерно 30 000 км²) – это так называемые местные радиоактивные осадки. Остальная часть уходит в тропосферу и/или стратосферу. В тропосферу попадают маленькие аэрозольные частички и располагаются там до месяца, в течение которого они выпадают на земную поверхность. Благодаря воздушным потокам тропосферные осадки выпадают за многие сотни и тысячи километров от места взрыва. В стратосферу уходит большая часть радионуклидов, которые глобально перемешиваются в стратосфере и затем в течение долгого времени (месяцы и годы) выпадают в различном количестве на различные участки поверхности всей Земли.

Радиоактивные вещества, образующиеся при ядерных взрывах, приводят к внутреннему облучению людей.

НКДАР (Национальная комиссия по действию атомной радиации (Россия)) выделяет 21 радионуклид, которые образовались при испытаниях ядерного оружия и которые вносят тот или иной вклад в дозу облучения населения. Среди них, кроме того, выделены радионуклиды, вклад каждого из которых в ожидаемую эффективную эквивалентную дозу превышает 1 % (за 100 % принята ожидаемая доза от всех дозообразующих радионуклидов ядерного взрыва). Это следующие 8 радионуклидов (в порядке уменьшения вклада в ожидаемую суммарную дозу) – ^{14}C , ^{137}Cs , ^{95}Zr (цирконий), ^{106}Ru (рутений), ^{90}Sr , ^{144}Ce (церий), ^3H и ^{131}I .

Как известно, природное содержание трития составляет не более $5,2 \cdot 10^{12}$ Бк (5,2 терабеккерель, или 5,2 ТБк). В результате испытаний ядерного оружия (в основном термоядерного) в атмосферу поступило $2,4 \cdot 10^{20}$ Бк трития, который активно включился в гидрологический цикл, и Мировой океан является сегодня основным депо хранения этого радионуклида.

Природное образование радиоактивного С-14 в атмосфере космическими нейтронами составляет $1 \cdot 10^{15}$ Бк (1 петабеккерель, или 1 ПБк). При испытаниях ядерного оружия радиоуглерод образуется при захвате азотом воздуха нейтронов, испускаемых во время ядерного взрыва. Суммарная активность ^{14}C , накопившаяся в результате испытаний оружия, проведенных до 1981 г., составила 220 ПБк.

По оценкам экспертов понадобится несколько тысячелетий, чтобы содержание этих изотопов пришло в норму.

Стронций-90 - чистый бета-излучатель со средней энергией 0,196 МэВ. При его распаде образуется другой бета-излучающий радионуклид - иттрий-90 ($T_{1/2} = 61,1$ часа, средняя энергия бета-частиц 0,935 МэВ). Исторически сложилось так, что именно ^{90}Sr был объектом пристального внимания ученых всего мира в течение долгого времени, поэтому получены обширные данные о его поведении в окружающей среде. Общее количество Sr-90, образованного в результате всех прошедших до 1981 г. испытаний, составило 600 ПБк. За вычетом местных выпадений общее глобальное накопление Sr-90 составляло к концу 1980 г. около 400 ПБк.

Цезий-137 - радионуклид, излучающий бета-частицы. При его распаде образуется дочерний радионуклид $^{137\text{m}}\text{Ba}$, который распадается с периодом полураспада 2,55 минуты, при этом испускаются гамма-кванты. Количество Cs-137, попавшего в атмосферу до 1981 г., равно 960 ПБк.

Нуклиды Sr-90 и Cs-137 в составе глобальных осадков выпадают в воднорастворимой форме. Эти элементы являются основными загрязнителями территорий пострадавших от Чернобыльской катастрофы.

Иод-131 - радионуклид, излучающий бета-частицы и гамма-кванты. Общее количество ^{131}I , поступившего в атмосферу, согласно оценкам, равно $7 \cdot 10^{20}$ Бк. Основной источ-

ник поступления радиоактивного йода в организм людей – молоко (в тех районах, где оно является важным компонентом рациона человека).

Плутоний-328. Pu-328 имеет период полураспада, равный 87,7 лет, общее количество этого радионуклида, образовавшееся при проведении испытаний, составляет 330 ТБк; Pu-239 - 24100 лет, 7,8 ПБк; Pu-240 - 6570 лет, 5,2 ПБк; Pu-241 - 14,4 лет, 1700 ПБк; Pu-242 - 376000 лет, 160 ТБк; Am-241 (образуется при распаде Pu-241) - 433 года, 5,5 ПБк; Ag-39 - 269 лет, 1,2 ПБк и т.д.

По подсчетам специалистов, полная ожидаемая доза от всех радионуклидов, образовавшихся при ядерных испытаниях, составит примерно 4000 мкЗв (т.е. 400 мбэр). До 2000 года было израсходовано только 7,7 % от этой дозы, и она будет почти полностью реализована более чем за тысячу лет. Очень малые дозы от наиболее долго живущих радионуклидов ядерных взрывов люди будут получать еще на протяжении миллионов лет.

4. Загрязнение радионуклидами, поступающими в биосферу при работе предприятий.

Радиоактивные вещества могут поступать в природную среду на всех стадиях этого цикла:

- добыча и переработка урановых и ториевых руд;
- обогащение урана изотопом ^{235}U ;
- изготовление тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ);
- получение ядерной энергии в ядерных реакторах;
- переработка отработавшего ядерного топлива на радиохимических предприятиях и извлечение из него делящихся веществ и радионуклидов, представляющих интерес для народного хозяйства;
- переработка, хранение и захоронение радиоактивных отходов.

Для обеспечения всех стадий ЯТЦ необходима также транспортировка радиоактивных материалов.

Основными источниками потенциальной ядерной опасности на территории России являются предприятия по производству расщепляющегося материала для ядерного оружия - Арзамас-16, Челябинск-40, Коасноярск-45, Томск-7, действующие 11 АЭС, которые дают около 12 % электроэнергии для нашей страны и 7 атомных ледоколов; кроме этого, в бывшем СССР насчитывалось 170 атомных подлодок, на которых находились 324 реактора. Большая часть выведена из употребления, а реакторы являются источниками повышенной радиации.

Несмотря на повышенные требования по безопасной работе ядерных реакторов, количество нарушений их эксплуатации остается высоким, в частности, на АЭС в 1991 г. было 164 таких нарушения, в 1992 г. - 204, в 1993 - 200. Однако уже хорошо известно, что потенциальная опасность имеет свойство реализовываться: 1957 г. - на Северном Урале вблизи г. Кыштым взрыв на военном предприятии "Маяк" с катастрофическими последствиями, 1974 - 1975 гг. - аварии на Ленинградской АЭС, 1978 г. - пожар на Белоярской АЭС, 1986 г. - катастрофа на Чернобыльской АЭС, 1993 г. - авария на Сибирском химическом комбинате (Томск-7).

Добыча урановой (ториевой) руды производится подземным способом (шахты), открытым (карьеры), а в последние два десятилетия также методом подземного выщелачивания металла на месте его залегания — это зависит от конкретных горно-геологических условий и концентрации металла в руде (концентрация урана в руде в виде U_3O_8 колеблется обычно от 0,1 до 3 %). Подземный способ применяют обычно для месторождений с высоким содержанием урана, залегающих в крепких породах на глубине более 200 - 300 м. На меньших глубинах и с низким содержанием металла применяют открытые способы.

При добыче руды подземным и открытым способами образуются газообразные, жидкие и твердые радиоактивные отходы (РАО). Газообразные радиоактивные выбросы

состоят главным образом из Rn-222. В среднем образуется от 0,4 до 8 ГБк Rn-222 на 1 т добываемой руды (разброс зависит от ее качества). Жидкие отходы в основном определяются шахтными водами, образующимися при дренаже, а также водой для технологических целей. Твердые отходы состоят из горной породы и руды с очень низким содержанием урана.

Добытую руду транспортируют на обогатительную фабрику, обычно расположенную неподалеку. Обогащение урановой руды происходит в процессах грохочения, дробления, измельчения и последующего перевода в растворимую в воде двуокись урана UO_2 . При этом металлы, образующие нерастворимые сульфиды, переходят в шламы. Вместе с сульфидами из процесса уходят также продукты распада урана - радий и его радиационно-опасные дочерние нуклиды, а также Ba, Pb, Bi, Al, Fe, Ca, ионы SO_4 и песок. Урановые отходы (хвосты) с обогатительных заводов сбрасываются в виде суспензии, состоящей на 50 % из твердой фракции. Обычно около 85 % активности содержится в илстой фракции. Количество радиоактивных аэрозолей, выбрасываемых в атмосферу из хвостохранилища, зависит от размеров их высохшей части, которая в свою очередь определяется метеорологическими и климатическими факторами. Кстати, радий является радиоактивным элементом, играющим большую роль в технике и медицине, и его можно добывать промышленным способом из шламов, накапливающихся в хвостохранилищах в огромном количестве. Так, при 0,2 % содержании урана в руде на каждые 200 т получаемого урана (годовая потребность АЭС мощностью 1 ГВт) образуется 100 тыс. тонн РАО.

Вблизи действующих обогатительных фабрик в Северной Америке к 1985 г. скопилось около 120 млн. т отходов, и если положение не изменится, то к концу века эта величина возрастет до 500 млн. т. Эти отходы будут оставаться радиоактивными в течение миллионов лет, т.е. будут являться главными долгоживущими источниками облучения населения. Их вклад можно значительно уменьшить, если отвалы покрыть асфальтом или поливинилхлоридом. Конечно, покрытия необходимо будет регулярно менять и также захоранивать.

Урановый концентрат, поступающий с обогатительных фабрик, подвергается дальнейшей переработке на урановых химических и аффинажно-металлургических заводах с целью извлечения урана и очистки его от посторонних примесей. На стадии аффинажа получают полуфабрикат, пригодный для производства металлического урана или гексафторида урана. (Аффинаж — металлургический процесс получения металлов высокой чистоты путем их разделения и отделения от них различных примесей.)

Как известно, в цепной самоподдерживающейся реакции деления ядер под действием тепловых нейтронов участвует только изотоп урана U-235, содержание которого в природном уране составляет 0,71 % (остальная часть принадлежит U-238). Для ядерного топлива необходимо обогащать природную смесь урана изотопом ^{235}U , а это, в свою очередь, требует разделения легкого и тяжелого изотопов урана.

Гексафторид урана (UF_6) по своим химическим свойствам близок к идеальному газу и является пока единственным соединением, пригодным для разделения изотопов ^{235}U и ^{238}U . Эта задача решается с помощью молекулярно-кинетических методов (газодиффузия, термодиффузия, центрифугирование) или электромагнитного метода. Для получения UF_6 используют, как правило, тетрафторид или очищенную двуокись урана. Необходимо отметить, что UF_6 , а также F_2 и фтористый водород, используемые как реагенты, - весьма токсические газы.

В результате такой переработки образуются газообразные и жидкие РАО (в основном альфа- и бета-излучатели), однако дозы облучения населения от них намного меньше, чем на других стадиях ЯТЦ. Обогащенный уран служит исходным сырьем для производства твэлов ядерных реакторов (твэл состоит из урансодержащего сердечника, заключенного в металлическую оболочку).

В ядерном реакторе осуществляется самоподдерживающийся процесс следующих друг за другом актов деления ядер U-235 под действием нейтронов. Основной частью

ядерного реактора является активная зона, в которой находится делящийся материал. В реакции деления ядра образуются два радиоактивных осколка в виде атомов различных элементов и нейтроны. По мере работы реактора число атомов ядерного топлива в нем постепенно уменьшается, "выгорает", а количество осколков, напротив, увеличивается. За активной зоной находится обычно отражатель или экран, который частично отбрасывает уходящие нейтроны обратно в активную зону и тем самым способствует протеканию цепной реакции. За экраном располагается биологическая защита от ионизирующего излучения, которая выполнена в виде толстых бетонных стен или баков с водой.

Для управления цепной реакцией служат специальные управляющие стержни, изготовленные из материалов, способных сильно поглощать нейтроны. Введение таких стержней в активную зону приводит к уменьшению количества свободных нейтронов и тем самым к задержке или даже к полному прекращению цепной реакции.

При работе реактора в активной зоне и частично в отражателе выделяется громадное количество энергии, которая в конечном счете проявляется в виде тепла. Для того, чтобы реактор не перегревался и не разрушался, тепло из него необходимо непрерывно отводить. Для этого через активную зону постоянно прокачивается газ, или вода, или какое-нибудь другое вещество, отбирающее тепло из активной зоны и передающее его затем атмосферному воздуху, воде реки или пару, идущему в турбину электростанции. При этом вещество теплоносителя становится радиоактивным в результате его активации нейтронами.

В результате работы АЭС образуются РАО, которые поступают в окружающую среду, т.к. системы очистки не дают 100 %-го эффекта.

К газообразным отходам относятся радиоактивные благородные газы (РБГ): около десяти радионуклидов Kr и Xe - продуктов деления, ^{41}Ar - продукт нейтронной активации ^{40}Ar , содержащегося в воздухе и в охлаждающей реактор воде или газе. РБГ играют основную роль в формировании дозы внешнего гамма-излучения от АЭС.

Среди аэрозольных радионуклидов, присутствующих в атмосферных выбросах АЭС различных типов насчитывается более 50 биологически значимых.

К **жидким отходам** относятся пульпы ионообменных смол, фильтроматериалы, кубовые остатки выпарных аппаратов, в которые поступает загрязненная радионуклидами вода при эксплуатации или ремонте реактора. В окружающую среду сбрасываются очищенные, так называемые дебалансные воды, активность которых создается в основном за счет трития в форме тритиевой воды НТО, т.к. система очистки не позволяет выделять тритиевую воду из воды.

К **твердым отходам** АЭС относятся: твердые отходы, возникающие после отверждения жидких концентрированных отходов; детали оборудования реактора, сеяные с эксплуатации (топливные каналы, насосы, задвижки, фильтры и т.д.; использованный инструмент и приборы; израсходованные материалы (ветошь, спецодежда, бумага и пр.). Твердые отходы до момента захоронения хранятся на площадке АЭС. Количество твердых отходов зависит от типа реактора и не превышает обычно $2000 \text{ м}^3/(\text{ГВт} \times \text{год})$.

Величина радиоактивных выбросов у различных реакторов колеблется в широких пределах: не только от одного типа реактора к другому и не только для разных конструкций реактора одного и того же типа, но также для двух разных реакторов одной конструкции. Выбросы могут существенно различаться даже для одного и того же реактора в разные годы, потому что различаются объемы текущих ремонтных работ, во время которых и происходит большая часть выбросов. В конце 1989 г. в 26 странах действовало в общей сложности 416 энергетических ядерных реакторов суммарной мощностью 274 ГВт, еще около 100 реакторов возводилось.

Большой вклад в загрязнение биосферы вносят заводы по переработке облученного ядерного топлива. При переработке из него извлекаются уран и плутоний для повторного использования в ядерных реакторах, а также некоторые долгоживущие радионуклиды, которые могут быть использованы в народно-хозяйственных целях (^{137}Cs , ^{90}Sr и др.). Перед

поступлением на переработку твэлы обычно выдерживают не менее 120 суток, чтобы распались до минимального уровня короткоживущие радионуклиды, главным образом I-131.

Весомый вклад в загрязнение биосферы и глобальную дозу облучения населения всего мира вносят также долгоживущие радионуклиды ^3H , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{129}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs и изотопы трансурановых элементов, присутствующие в выбросах и сбросах заводов по переработке облученного ядерного топлива. Для радиохимического завода (РХЗ) мощностью 1500 тонн тяжелого металла (тм) в год, который перерабатывает облученное топливо от легководных АЭС, расчетное значение индивидуальной годовой эффективной эквивалентной дозы в районе завода (на расстоянии до 100 км) составляет около 250 мкЗв (25 мбэр). Суммарная мощность радиохимического производства в Томске-7 позволяет переработать не менее 5000 тм в год.

Радиоактивные отходы, образующиеся при переработке топлива, как правило, смешиваются с большим количеством нерадиоактивных химических отходов. Химические отходы сами по себе могут представлять большую опасность для окружающей среды и здоровья людей. **Химические отходы переработки можно разделить на три категории.**

1. К первой категории относятся кислотные отходы, получаемые на стадии растворения отработанного топлива. Обычно используется азотная кислота, хотя возможно использование и других кислот. Агрессивность этих кислот (рН обычно меньше 1) порождает ряд серьезных проблем при обращении с отходами, часто приводит к утечкам в трубопроводах, вызывая загрязнение грунтовых вод. Кислоты также ускоряют скорости реакций других составляющих отходов, приводя к образованию горючих газов, например водорода. Кроме того, высокая кислотность приводит к увеличению мобильности таких радиоактивных веществ как плутоний.

2. Вторая категория химических отходов - разнообразные связывающие вещества, добавляемые для снижения реактивности отходов или для осаждения. Некоторые из этих веществ, например циан (CN), в кислой среде могут образовывать ядовитые газы и другие опасные соединения.

3. Третья категория химических отходов включает в себя разнообразные органические растворители, такие как трихлорэтилен, трибутилфосфат и др. Многие из них, например четыреххлористый углерод, известны как активные канцерогены. Кроме того, растворители могут отравить грунтовые воды на большой территории.

На заключительной стадии ЯЦТ производится захоронение высокорadioактивных отходов. При этом возникает немало проблем, т.к. для деактивации радиоактивных отходов необходимо время, равное примерно 20 периодам полураспада (нетрудно представить сложность задачи, если вспомнить, что период полураспада, например Pu-239, которым начинены атомные боеголовки, равен 24400 лет, т.е. человечество сегодня закладывает мину замедленного действия своему будущему).

Хранить ли РАО в течение сотен тысячелетий в соляных шахтах, в герметичных (до поры, до времени) емкостях глубоко под землей или на дне океана, просто сбрасывать в море или отправлять в космос? Вопросы захоронения отходов в целом решаются правительствами разных стран по-разному. В этой связи необходимо отметить тенденцию роста ввоза импортных грязных отходов в Россию. По оценке "Гринпис", в период с 1967 по 1993 г. более 90 иностранных фирм предприняли 96 попыток экспортировать 34 млн. т опасных отходов на территорию России. В 1991-м году было сделано 6 попыток продаж опасных отходов, в 1992 - 27 и в 1993 - уже 31 попытка. В основном предложения исходили из Германии - 28 млн. т, США, Австрии, Италии, Бельгии, Канады, Финляндии и др. Среди предложенных отходов 10 млн. т шлака и пепла мусоросжигательных заводов, отфильтрованная пыль, пестициды, химикаты, пластиковые, радиоактивные и другие отходы. Более 4000 т отходов благополучно было доставлено и размещено на российской территории, в том числе радиоактивные и ртутные отходы. Безусловно, эти далеко не полные данные – лишь малая часть того, что происходит на самом деле.

На территории России для захоронения РАО имеются 15 полигонов, которые являются источниками потенциальной радиационной опасности. Томск-7, например, зарывает контейнеры в землю на глубину 100 – 200 м, закачивает жидкие отходы в геологические пласты - при этом не исключена вероятность попадания радиоактивных веществ в водоносные пласты, кое-что отправляет и в реку Томь.

Достаточно надежных способов захоронения РАО пока еще не разработано. Во многих странах ведутся исследования по отверждению отходов с целью их последующего захоронения в геологически стабильных районах на суше, на дне океана или в расположенных под ним пластах. Предполагается, что захороненные таким образом РАО не будут источником облучения населения в обозримом будущем. Делаются попытки предсказать судьбу захороненных радиоактивных материалов. Предварительные оптимистические оценки показали, что заметное количество этих радиоактивных веществ достигнет биосферы через 10^5 - 10^6 лет.

Контрольные вопросы:

1. На какие две группы делят первичные радионуклиды? Назовите, какие радионуклиды в них входят?
2. В результате, какой деятельности человека в биосфере появилось огромное количество искусственных радионуклидов и источников излучения?
3. Расскажите про загрязнение радионуклидами, поступающими в биосферу при работе предприятий.
4. На какие категории можно разделить химические отходы, которые смешиваются с радиационными, для упрощения переработки последних?

Литература:

1. Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2007.
2. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: Бином, 2006.
3. Сахаров В.К. Радиоэкология. СПб.: Издательство «Лань», 2006.

ЛЕКЦИЯ 7. «ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ РАДИОНУКЛИДОВ. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА РАДИОНУКЛИДОВ И ПРОЦЕССЫ ИХ ПЕРЕНОСА В БИОСФЕРЕ».

- 1. Свойства и процессы переноса радионуклидов космического происхождения.**
- 2. Свойства и процессы переноса радионуклидов естественного (земного) происхождения.**
- 3. Свойства и процессы переноса искусственных радионуклидов при ядерных взрывах.**

Содержание радионуклидов в объектах окружающей среды и их изменение определяются процессами их образования и переноса как в пределах одного геохимического резервуара (атмосферы, гидросферы, литосферы), так и между смежными резервуарами.

В свою очередь эти процессы можно понять только с учетом ядерно-физических, химических, геохимических и биохимических свойств радионуклидов и закономерностей процессов переноса их в различных средах. Полезную дополнительную информацию о свойствах и процессах переноса можно получить из данных для стабильных элементов – аналогов рассматриваемых радионуклидов.

К настоящему времени накоплен значительный объем данных о процессах образования, переноса и депонирования естественных и искусственных радионуклидов в биосфере. Но эти процессы столь многообразны, что даже качественное их описание возможно далеко не во всех случаях, а возможности количественного описания ограничены еще больше. Используемые в отдельных случаях математические модели требуют значительного числа параметров, получаемых для каждого конкретного случая из опыта.

Известных в настоящее время радионуклидов огромное количество и полное описание их свойств невозможно и не нужно. Во-первых, свойства многих из них не изучены в достаточной степени. Во-вторых, радионуклиды с малым периодом полураспада практически не играют существенной роли в облучении живых организмов. В третьих, содержание многих радионуклидов очень мало, что не существенно для радиоэкологии.

Из многих естественных радионуклидов для радиоэкологии существенны практически космогенные ^3H , ^7Be , ^{14}C , земного происхождения ^{40}K , и радионуклиды ряда ^{238}U и ^{232}Th .

1. Свойства и процессы переноса радионуклидов космического происхождения

Наиболее значимые для радиоэкологии космогенные радионуклиды ^3H , ^7Be , ^{14}C образуются в атмосфере. Из них ^3H и ^{14}C являются также искусственными радионуклидами, образующимися как в атмосфере, так и в водной среде.

^3H (тритий – Т) $T_{1/2} = 12,262$ года; $E_{\beta\text{max}} = 0,018$ Мэв; максимальный пробег электрона в воздухе 4,2 мм. В силу большого периода полураспада является глобальным загрязнителем атмосферы. Образуется в атмосфере в результате взаимодействия космического излучения с ядрами атомов воздуха. Средняя скорость образования ^3H в атмосфере $0,2 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, в литосфере $10^{-3} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ и в гидросфере $10^{-6} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Общее количество образуемого в год космогенного ^3H в атмосфере 10^3 ПБк , в литосфере 3,7 ПБк, а в гидросфере $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ ПБк}$. Всего в год образуется $(5,5 \div 11,0) \cdot 10^{10} \text{ МБк}$ космогенного ^3H . Общее количество его на Земле $(92 \div 185) \cdot 10^{10} \text{ МБк}$, из которых 65% находятся в океане, 27% - в поверхностных водах континентов и в литосфере, 8% - в атмосфере.

^3H . Тритий образуется и в результате испытаний термоядерного оружия, в период их проведения наблюдалось максимальное его содержание в атмосфере. С тех пор за счет радиоактивного распада содержание трития уменьшилось в 2-3 раза. В настоящее время среднее фоновое содержание ^3H в поверхностных водах $3,4 \div 4,2 \text{ Бк/л}$.

Тритий является одним из наиболее подвижных радионуклидов, обладает высокой миграционной способностью в природных средах. В отличие от других радионуклидов не удерживается никакими очистными барьерами.

Как правило, в атмосфере сразу после образования ^3H соединяется с кислородом воздуха в молекулы тяжелой воды НТО (77%), DTO и T₂O.

Физические, химические и биохимические свойства подобны таковым для обычной воды H₂O. Интегрированный в живой организм тритий эффективно включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения, как за счет воздействия β -излучения, так и за счет молекулярных изменений, вызванных заменой водорода нейтральным атомом гелия (в результате распада $^3\text{H} \rightarrow ^3\text{He}$).

Независимо от путей поступления в живой организм ^3H распределяется в нем равномерно и находится в нем в виде свободного НТО или в виде связанного ^3H . Свободный НТО выводится из организма быстрее, чем связанный. Так, для человека период полувыведения свободного НТО 9,7 сут., а для связанного ^3H от 30 сут. до 450 сут.

^3H в виде НТО участвует в нормальном круговороте воды в природе. Упрощенная схема этого круговорота показана на рис. V.1.

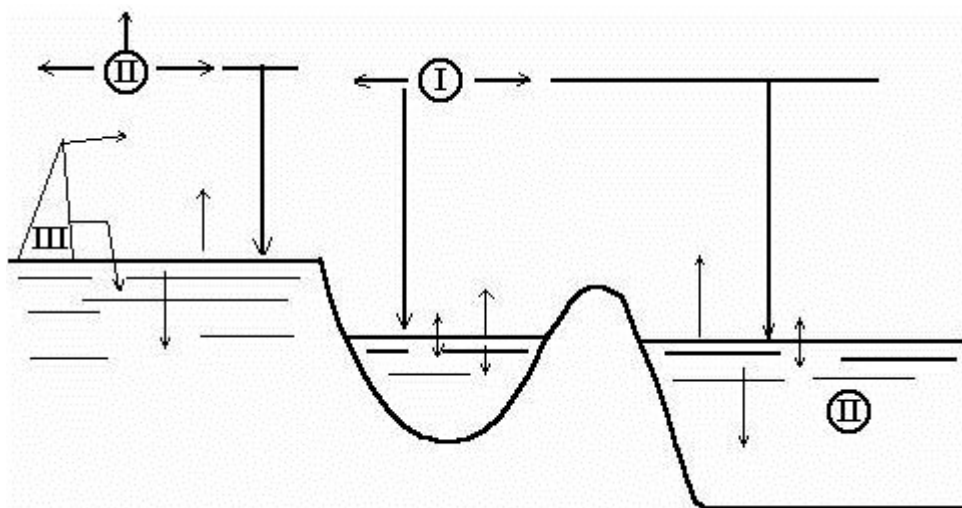


Рис. V.1.

Источники ^3H : I космогенные; II Ядерные взрывы; III – предприятия ЯТЦ.

В атмосфере ^3H перемещается в виде паров воды с воздушными массами; поступает на поверхность Земли и водные поверхности в виде осадков, а возвращается в атмосферу в результате испарения и прямого обмена между водой и воздухом. При обмене ^3H между атмосферой и водой океана в него поступает вода, обогащенная ^3H , а из него поступает вода, бедная ^3H . При обмене ^3H между атмосферой и земной поверхностью в атмосферу поступает вода, обогащенная ^3H за счет недавно выпавших осадков. В верхних перемешивающихся слоях океана (моря) содержание ^3H наибольшее, а с глубиной резко падает, и может снова возрасти в глубоких придонных горизонтах. Значительная часть ^3H переносится вглубь океана (моря). Среднее время обмена воды в поверхностных слоях океана около 3,5 лет.

С земной поверхности НТО поступает в почво-грунтовые и, через них, в подземные воды, а также по водосборам через гидрографическую сеть - в воды морей и океанов.

Кроме космогенного ^3H (I) в атмосфере он образуется при ядерных взрывах в атмосфере и под водой (II) и при работе предприятий ядерного цикла (III) в результате газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов. В последнем случае распространение ^3H в окружающей среде пространственно более ограничено. ^3H с водой поступает практически во все растительные и животные организмы.

${}^7\text{Be}, T_{1/2} = 50 \text{ дн.}$

Образуется под действием космического излучения в атмосфере, содержится и перемещается в ней в виде аэрозоли. Содержание ${}^7\text{Be}$ в приземном слое атмосферы в умеренных широтах около 3 мБк/м^3 . Наличие ${}^7\text{Be}$ выявлено в атмосферных осадках (в дождевой воде около 700 Бк/м^3) в морской воде, иловых донных отложениях, в растительности и в животных.

В морской воде наиболее вероятной химической формой нахождения бериллия являются продукты его гидролиза. В такой форме он легко сорбируется на взвешенном и коллоидном веществе (например, на гидроокиси железа) и осаждается на дно водоемов.

В живые организмы ${}^7\text{Be}$ поступает преимущественно через органы дыхания, причем время задержки в организме зависит от дисперсности аэрозолей. Внутри организма ${}^7\text{Be}$ транспортируется в виде неорганических соединений (фосфата или цитрата), свободно проникает в клетки всех тканей и может влиять на все ее структуры. В виде растворимых соединений (хлорида, сульфата, нитрата) через кровь может накапливаться в скелете.

${}^{14}\text{C}, T_{1/2} = 5570 \text{ лет}, E_{\beta\text{max}} = 0,155 \text{ Мэв};$ максимальный пробег электронов в воздухе 23 мм , а живой ткани $0,38 \text{ мм}$.

Основным источником поступления ${}^{14}\text{C}$ в биосферу является его образование в атмосфере под действием космического излучения (скорость образования $2,2 \div 2,3 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$; или $4,1 \text{ ТБк/сут}$ или $1,5 \text{ ПБк/год}$ в атмосфере в целом).

Общее количество космогенного ${}^{14}\text{C}$ в биосфере $8,5 \text{ ЭБк}$.

Поскольку считается, что на протяжении, по крайней мере, нескольких миллионов лет интенсивность космического излучения оставалась постоянной, то в биосфере возникло равновесие между вновь образующимися и распадающимися ядрами космогенного ${}^{14}\text{C}$. Однако на содержание ${}^{14}\text{C}$ в биосфере (его концентрацию) влияет интенсивная производственно-хозяйственная деятельность человека.

Во-первых, в результате масштабного сжигания ископаемого органического топлива в атмосферу выбрасываются окислы углерода, в которых содержание ${}^{14}\text{C}$ снижено. Это приводит к разбавлению в атмосфере ${}^{14}\text{C}$ стабильным ${}^{12}\text{C}$. **Во-вторых**, в результате ядерных взрывов в атмосферу поступает искусственный ${}^{14}\text{C}$. В 60-х годах содержание ${}^{14}\text{C}$ в атмосфере увеличилось примерно в 2 раза. **В третьих**, в результате выбросов и сбросов предприятий ядерного топливного цикла (АЭС и регенерационных заводов). На расстояниях $1 - 2 \text{ км}$ от них содержание ${}^{14}\text{C}$ в некоторых областях экосферы в $1,5 \div 2,0$ и более раз превышает его фоновое содержание.

Основная химическая форма нахождения ${}^{14}\text{C}$ в атмосфере ${}^{14}\text{CO}_2$, так как образующийся атом ${}^{14}\text{C}$ довольно быстро окисляется. В химических реакциях с участием углерода в биосфере не происходит разделения стабильного ${}^{12}\text{C}$ и радиоактивного ${}^{14}\text{C}$ изотопов углерода. Поэтому геохимия ${}^{14}\text{C}$ подобна геохимии ${}^{12}\text{C}$. Круговорот углерода в биосфере в упрощенном виде показан на рис. V.2.

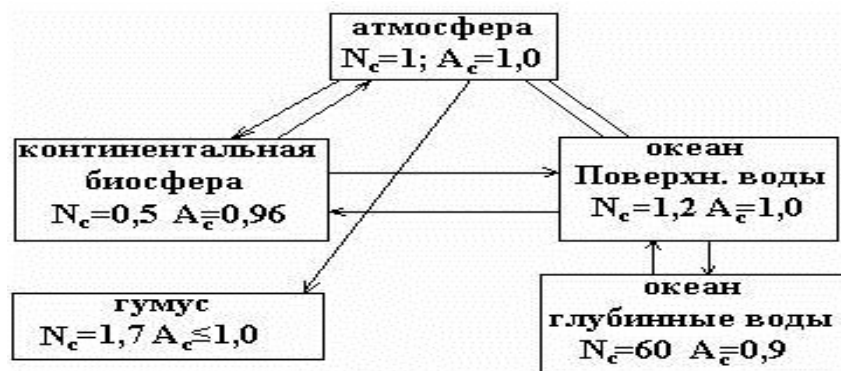


Рис. V.2. Упрощенная схема круговорота углерода в целом и ^{14}C между основными геохимическими резервуарами. N_c – количество углерода (в атмосфере принято $N_c = 1$); A_c – удельная активность ^{14}C (в атмосфере принято $A_c = 1,0$).

Основными процессами круговорота $^{14}\text{CO}_2$ в биосфере являются.

Процессы вывода из атмосферы (сумма $\Sigma = 1,0$)

- фотосинтез в океане 0,49
- фотосинтез на земной поверхности 0,47
- фотосинтез в поверхностных водах 0,04

Процессы поступления в атмосферу (сумма $\Sigma = 1,0$)

- эмиссия из океанов 0,48
- эмиссия из почво-грунтов и растительности 0,44
- эмиссия из поверхностных вод 0,035
- антропогенная эмиссия 0,004

Перевод ^{14}C в биосферу происходит за счет того, что растительный мир живет за счет атмосферного CO_2 , а животный – питается растительностью. Разность – поступающего и убывающего углекислого газа в атмосфере не более +2%. В самой атмосфере CO_2 переносится из океана на земную поверхность за счет испарения, а перенос с земной поверхности в океан за счет поверхностного (речного) и подземного стока, за счет эрозии и дефляции. **В обмене океан – земная поверхность** преобладает поступление ^{14}C в океан над поступлением на земную поверхность за счет испарения с поверхности океана (в соотношении 20:1). В поступлении в океан с земной поверхности преобладает речной сток (~67%) и дефляция (~23%). В поступлениях в поверхностные воды континентов значение эрозии почв (60%) и подземные стоки (~4,0%). Наибольшие содержания CO_2 в атмосфере (58%) и водной толще океанов (~35%) и меньшие на континенте ~7%, в том числе на земной поверхности 4,5% и в поверхностных водоемах ~2,5%.

По другим данным распределение космогенного ^{14}C в биосфере (фиксируемого организмами) следующее: в океане 90 – 95% (основная масса в глубоких горизонтах), в донных отложениях ~0,4%, в атмосфере 1,5 ÷ 3% и на земной поверхности ~4,0% (в том числе в гумусе ~3%, остальное – в наземных организмах).

За счет ^{14}C искусственного происхождения распределение в целом ^{14}C существенно изменяется, особенно в атмосфере и континентальной биосфере.

Подавляющее количество выводимого из атмосферы и гидросферы CO_2 в почвы и осадки (78%) усваивается в процессе фотосинтеза в биомассе. Из этой фитомассы ~97% в конечном счете минерализуется, и также участвует в круговороте углерода. Обмен ^{14}C в окружающей среде происходит довольно быстро. Так, период полувыведения ^{14}C из атмосферы оценивается в 1,5 ÷ 5,0 лет.

Так как живые организмы состоят почти целиком из соединений углерода, то ^{14}C накапливается в живых организмах. Поражающее действие ^{14}C связано с его вхождением

в состав молекул белков и, особенно, молекул ДНК и РНК. Оно проявляется при ионизации среды электронами ^{14}C и атомами отдачи азота (при распаде $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}$). Существенное значение имеет и эффект изменения химического состава молекул при распаде ^{14}C – так называемая трансмутация (превращение) атомов углерода в атомы азота. При трансмутации углерода в молекуле ДНК происходит генная мутация, которая обратима с трудом или совсем необратима.

2. Свойства и процессы переноса радионуклидов естественного (земного) происхождения.

Источником радионуклидов земного происхождения (^{40}K , радионуклиды семейств ^{238}U и ^{232}Th) является земная кора. Независимо от пути образования Земли элементный состав исходного материала был близок к элементному составу Солнечной системы. Физические и химические процессы дифференцировали первичный материал на ряд первичных (вулканические) и вторичных (осадочные) горные породы с собственным элементным составом. Он чрезвычайно разнообразен (варьируется в пределах нескольких математических порядков), но всегда включает естественные радионуклиды. Радиоактивные элементы являются легко окисляющимися металлами, их окислы имеют относительно малую плотность и поэтому они содержатся в земной коре преимущественно в виде окислов и преобладают в земной коре (а не в ее плотной мантии). В монолитных горных породах и в других «запечатанных» вмещающих (ловушках) материнские и дочерние радионуклиды находятся вместе и, как правило, в состоянии радиоактивного равновесия. Из других мест радионуклиды могут уходить самыми различными путями в результате физических, химических процессов, началом которых может быть процесс радиоактивного распада.

На земной поверхности в результате геологических и биологических процессов и под воздействием климатических факторов сформировался почвенный покров. Состав его в значительной мере определяется составом подстилающих горных пород, но варьирует в зависимости от особенностей процесса накопления и выноса элементов при контакте с подстилающими породами, подземными и поверхностными водами и биомассой. Почвы включают неорганический материал (частицы, коллоиды), почвенный раствор, почвенные газы, органические вещества и живые организмы. Во все компоненты почвы входят естественные радионуклиды.

Упрощенная схема круговорота ЕРН приведена на рис. V.3.

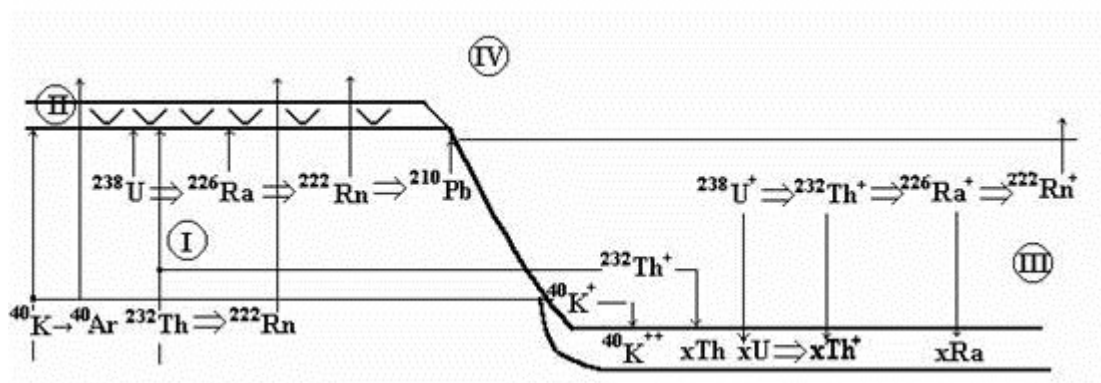


Рис. V.3. Схема круговорота ЕРН в системе литосфера (I) – гидросфера (II) – биосфера (III) – атмосфера (IV). Переход в результате радиоактивного распада

($\Rightarrow$); диффузионный и механический перенос с водой, газами ($\rightarrow$): ионы +; химические соединения xK, xU, xTh.

Основным резервуаром ЕРН являются горные породы. Особенности круговорота отдельных ЕРН описаны ниже, вместе с описанием их свойств.

^{40}K , $T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$ лет. В природном калии содержится 0,0119% ^{40}K . При β -распаде (89%) переходит в ^{40}Ar , а при К-захвате (11%) – в ^{40}Ca .

Калий – легко окисляющийся щелочной металл, образующий хорошо растворимые соли. В первичных горных породах его содержание наибольшее в кислых вулканических породах (граниты и др.). Из осадочных пород наибольшим содержанием ^{40}K обладают сланцы и песчаники.

^{40}K является одним из главных ЕРН в почвах, водах, донных отложениях и в биологических объектах. Калий – один из важных биологических элементов.

В почве калий содержится преимущественно в виде окислов в неорганической фракции и в почвенном растворе в виде солей. В биомассу на земной поверхности поступает преимущественно в растворимой форме через корневую систему и распределяется в живых организмах равномерно.

В водные экосистемы поступает из горных пород и почв в растворимой ионной форме и, благодаря хорошей растворимости, весьма однородно распределяется в толще вод. Его концентрация мало изменяется под действием химических и биологических факторов. Содержание ^{40}K в донных отложениях в 2 – 20 раз выше, чем воде водоемов. Это результат того, что некоторые ионы калия адсорбируются взвешенными частицами, и с ними ^{40}K осаждается на дно водоема.

Процессы миграции радионуклидов семейств ^{238}U и ^{232}Th существенно более сложные из-за многообразия участвующих в них радиоактивных элементов. В отличие от материнских ^{238}U и ^{232}Th продукты их распада в результате разрушения минералов при радиоактивном распаде концентрируются в зоне нарушений и в капиллярах минерала, что облегчает их выщелачивание из них и переход в подземные воды. Интенсивность миграции этих радионуклидов из горных пород (выноса и перехода в другие среды) зависит как от степени их разрушения, так и состава растворов.

^{238}U (99,28%), $T_{1/2} = 4,51 \cdot 10^9$ лет. Другие радионуклиды урана ^{235}U (0,71%) и ^{233}U (0,006%) в радиоэкологии практически не играют роли. Среди продуктов распада ^{238}U имеют значение ^{234}U , $T_{1/2} = 2,47 \cdot 10^5$ лет; ^{230}Th , $T_{1/2} = 8 \cdot 10^4$ лет; ^{226}Ra , $T_{1/2} = 1602$ года; ^{222}Rn , $T_{1/2} = 3,825$ дн.; ^{210}Bi , $T_{1/2} = 5,01$ сут; ^{210}Po , $T_{1/2} = 138,4$ сут и ^{210}Pb , $T_{1/2} = 21$ год.

Уран отличается высокой реакционной способностью и образует большое число соединений, в которых проявляются валентности 3, 4, 5 и 6. Из них наиболее распространены соединения U^{6+} , которые хорошо растворимы и в природных условиях. Это способствует выщелачиванию урана из ураноносных пород, его переносу и переохлаждению, выносу в водоемы. С другой стороны наиболее устойчивые в природных условиях соединения U^{4+} , которые характерны для восстановительной, бедной кислородом геологической среды. Соединения U^{3+} и U^{5+} известны только в лабораторных условиях.

Уран содержится в нескольких десятках минералов. Наивысшие содержания среди горных пород имеют первичные вулканические породы (гранит) и в некоторых осадочных породах, образовавшихся из первичных благодаря разрушению первичных пород и выщелачиванию из них урана.

Характер и способность к миграции урана определяется способностью U^{6+} участвовать в окислительно-восстановительных реакциях, присутствием в поровых растворах и жидких включениях водорастворимостью соединений U^{6+} . Существенную роль играет также процесс окисления $\text{U}^{4+} \rightarrow \text{U}^{6+}$ в присутствии кислорода и при радиоактивном распаде.

В результате выветривания и выноса с подземными водами уран переходит в наземные воды (в водоемы) и к поверхности Земли (поступает в биомассу). Содержание урана в поверхностных водах (реках, озерах) обусловлено региональными различиями его содержания в горных породах, интенсивностью процессов выветривания и многообразием форм их нахождения в воде. Вариации содержаний урана в речных водах достигают трех порядков величины.

В моря и океаны уран попадает главным образом в результате выветривания горных пород, стоков с земной поверхности с обломочным и растворимым материалом, а также в

меньшей степени при абразии берегов, и с поднятой в атмосферу пылью и в результате вулканической активности. Содержание урана в морской воде в ~1000 раз меньше, чем в первичных горных породах.

Миграция урана в природных водах может происходить:

- в форме положительно заряженных катионов, например (UO_2OH^+),
- в форме отрицательно заряженных анионов – уранилкарбонатных комплексов, например, $[(\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2)]^{2-}$,
- в сформированном состоянии из донной механической взвеси и коллоидах.

Соотношения этих форм в природных водах очень сильно варьируют.

При характерных для морской воды условиях уран в ней находится в ионно-дисперсном состоянии в виде прочного уранилкарбонатного комплекса. Для других природных вод возможно существование урана в форме продуктов гидролиза, способных адсорбироваться на взвешенных частицах и с ними выводиться в донные осадки. Перенос же урана в составе взвешенного терригенного вещества ограничен прибрежными зонами. Перенос урана в водной толще в силу хорошей растворимости его соединений происходит преимущественно под действием гидрологических факторов. Время пребывания его в водоемах очень велико (в океане - $5 \cdot 10^5$ лет), а распределение в водной толще однородное. Отклонения от средних содержаний урана в водах существенно во внутренних и замкнутых водоемах. Они вызываются, в частности, климатическими условиями. Способность урана к участию в осадкообразовании резко ограничена высокой устойчивостью карбонатного комплекса в воде и недонасыщением воды соединениями урана. Нет условий ни для непосредственного осаждения урана в виде его гидрата, ни для адсорбционных накоплений его в осадках. Повышенное содержание урана в некоторых осадках связано главным образом с некоторыми органическими материалами. Отношение удельных активностей урана в воде и в донных отложениях океана ~2,0.

В живые организмы уран поступает преимущественно в растворенном виде и существенно зависит от его валентности. Накапливается уран главным образом в мягких тканях. Существенной роли уран и продукты его распада в обмене веществ у живых организмов не играют.

^{226}Ra , $T_{1/2} = 1602$ года. Широко распространен в природе и является одним из основных источников естественного радиационного фона.

Радий химически подобен барию, имеет валентность 2. Растворимые соединения радия в воде – хлорид, нитрат, бромид, сульфид; нерастворимые – карбонат, сульфат, иодат и оксалат.

Содержится практически во всех объектах окружающей среды.

Независимо от химической формы при поступлении в живые организмы депонируются (накапливаются) в костных тканях. Хорошо усваивается растениями и, через них, может поступать в организмы животных.

В донных отложениях морей (глубоководных) содержание радия существенно выше, чем в горных породах. Избыток радия имеет место и по отношению к воде. Вероятно это результат его соосаждения и седиментации с гидрооксидами железа и марганца ^{230}Th (материнского для ^{226}Ra). Часть ^{226}Ra может поступать в осадки и при прямом адсорбционном захвате его на взвешенных частицах.

^{222}Rn , $T_{1/2} = 3,825$ дн.

Радиоактивный благородный (химически инертный) газ с плотностью 0.00973 г/см^3 при 0°C . Точка плавления -71°C , точка кипения $-61,8^\circ\text{C}$. Растворимость в воде $0,25 \text{ мл/1 мл H}_2\text{O}$ и уменьшается с повышением температуры. Растворим также во многих органических растворителях (сероуглероде, хлороформе, этиловом эфире, ксилоле, толуоле и др.).

Источником поступления ^{222}Rn в окружающую среду является ^{226}Ra , содержащийся в горных породах (первичный источник), а также ^{226}Rn и ^{222}Rn , содержащиеся в почвах,

подземных водах, поверхностных водах и донных отложениях, наземных и водных растениях, а также вулканическая активность.

Основной путь переноса радона – из горных пород по трещинам с газовой фазой и с водой к поверхности Земли через почву, в которой может содержаться в значительном количестве в почвенном воздухе. Скорость энгаляции ^{222}Rn с земной поверхности и содержание его в приземном слое воздуха зависит не только от его содержания в почвенном воздухе, но и от многих других факторов. По этим причинам содержание радона в воздухе испытывает сложные временные вариации. Содержание радона в природных водах в целом снижается от подземных и грунтовых вод к поверхностным. Особенно низкое его содержание в воде морей и океанов. Отсюда и низкое его содержание в воздухе над океаном. В воздухе резко нарушается радиоактивное равновесие радона и продуктов его распада. При радиоактивном распаде ^{222}Rn продукты его распада приобретают электрический заряд и, соответственно, способность присоединяться к аэрозольным частицам и с ними перемещаться (в том числе и в процессе диффузии) и осаждаться. Это и приводит к сдвигу равновесия между радоном и продуктами его распада. Кроме естественных источников радона в настоящее время существуют многочисленные антропогенные, связанные с различными технологиями использования природных ресурсов (минерального сырья, органического топлива, подземных вод и т.д.).

Основной путь поступления радона в организмы – ингаляционный (при дыхании), а основное радиационное воздействие связано с дочерними продуктами распада радона. Вторичными путями поступления радона являются вода и распад радия, инкорпорированного в организм.

^{210}Pb , $T_{1/2} = 21$ год.

Химические свойства ^{210}Pb подобны свойствам стабильного свинца. При миграции, в общем, сопровождает радон, но даже в воздушной среде поведение ^{210}Pb (как и других продуктов распада радона) отличается от поведения радона (см. выше). Если газообразный радон перемещается в атмосферном воздухе на большие расстояния, то продукты его распада (в т.ч. и ^{210}Pb) практически полностью и довольно быстро выпадают на земную поверхность с полевыми частицами, аэрозолями и атмосферными осадками. Продолжительность пребывания ^{210}Pb в воздухе зависит от устойчивости и времени пребывания в воздухе этих носителей (около $20 \div 40$ суток). Благодаря большому периоду полураспада ^{210}Pb при определенных условиях он может быть перенесен на большие расстояния.

На земной поверхности ^{210}Pb вместе с носителями задерживается не только на почве, но и на растительности, может попасть в поверхностные воды. К поверхности Земли выносятся также вместе с радоном из почвенного воздуха. В природных водах (нейтральных и щелочных) переносится главным образом в виде твердой взвеси и коллоидных частиц, и только в кислых средах возможен перенос в растворенном виде. Главным путем загрязнения растительности ^{210}Pb является непосредственное отложение его на поверхности наземных частей растения с аэрозолями (~85%), второй путь загрязнения – переход в растение через корневую систему из почвы менее значим (~15%). ^{210}Pb хорошо усваивается растительными организмами. Имеется корреляция содержания ^{210}Pb в поверхностном слое почвы с биомассой растения. Из содержащегося в воде ^{210}Pb значительная часть концентрируется в водных живых организмах (коэффициент концентрирования ^{210}Pb из морской воды $\sim 10^4$). В организме животных депонируется преимущественно в костной ткани..

^{210}Bi , $T_{1/2} = 5,01$ сут. **^{210}Po** , $T_{1/2} = 138,4$ сут.

По физическим и химическим свойствам подобны химическим элементам висмуту и свинцу. Основные валентности 2, 4 и 6. Хорошо адсорбируют на различных материалах, особенно на металлах. Образуют коллоидные гидроксиды или основные соли в щелочных и нейтральных средах.

В объектах экосферы содержание определяется преимущественно распадом их долгоживущего радионуклида – преимущественно ^{210}Pb .

Содержание ^{210}Po в атмосферных осадках 4 – 30 Бк/л, в воде озерных водоемов – в 10 – 100 раз меньше. В почве содержание 75 – 220 Бк/кг в зависимости от типа почвы.

В живые организмы ^{210}Bi и ^{210}Po поступают как за счет распада содержащихся в них ^{210}Pb , так и частично за счет питания (с белками и минеральными солями) и при дыхании. Почти одинаково концентрируются в костных и мягких тканях.

^{232}Th , $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$ лет.

Среди продуктов распада долгоживущими являются радионуклиды ^{228}Ra , $T_{1/2} = 5,8$ лет; ^{228}Th , $T_{1/2} = 1,1$ года; ^{224}Ra , $T_{1/2} = 364$ сут и ^{212}Pb , $T_{1/2} = 10,64$ час. Продуктами распада ^{224}Ra является короткоживущий радиоактивный газ торон ^{220}Tn с $T_{1/2} = 54,5$ с. В природных условиях в большинстве случаев в ряду ^{232}Th имеет место радиоактивное равновесие.

Торий химически активен. Основная валентность 4. В природных условиях представлен окислами, силикатами, фосфатами, карбонатами, фторидами. Известно несколько десятков минералов тория, главными из которых являются монацит, торит, уратоторит, торианит. Почти все минералы тория содержат и уран. Обычно минералы тория (циркон, пирохлор и др.) образуют прибрежные (морские и шельфовые) россыпные месторождения.

Интенсивность выноса тория из коры выветриванием и миграционная способность его в водной среде существенно меньше, чем у урана и не зависит от окислительно-восстановительных условий среды. Геохимические свойства тория резко отличны от таковых для урана. Это связано с тем, что наиболее распространенные минералы тория (монацит и циркон) чрезвычайно склонны к химическому разложению и торий сохраняется преимущественно в осадочных минералах. Основная часть тория мигрирует с крупным обломочным (терригенным) материалом. Из-за склонности к гидролизу и адсорбции на взвешенных частицах и коллоидах значительная часть тория осаждается из водной толщи в виде взвесей и коллоидов, причем сохраняет эти формы в водоемах вплоть до осаждения на дно.

В целом из-за указанных выше свойств миграционная способность тория в природных водах сильно ограничена. Пространственное распределение его в водоемах более неравномерно (чем урана), а время пребывания относительно мало и соизмеримо со временем общего круговорота вод в водоеме (для океана < 300 лет). В отличие от урана, содержание которого в воде вдвое больше, чем в донных отложениях, содержание тория в донных осадках ~ в $4 \cdot 10^3$ раз больше, чем в воде. Его содержание в воде меньше чем урана в $1,2 \cdot 10^3$ раз, в то время как в донных отложениях – только в 6,6 раз. Характерен и тот факт, что содержание ^{232}Th в донных отложениях близко к таковому для континентальных горных пород. В живых организмах соли тория подвергаются гидролизу с образованием трудно растворимого гидроксида, который образует прочные комплексы с белками, аминокислотами и органическими кислотами. Очень мелкие частицы могут адсорбироваться на поверхности клеток мягких тканей. Может в существенной мере депонироваться в костной ткани.

3. Свойства и процессы переноса искусственных радионуклидов при ядерных взрывах.

Среди более 300 радионуклидов – продуктов ядерных взрывов наибольшее значение для радиоэкологии имеют радионуклиды – продукты реакций синтеза и деления – ^3H , $^{84,90}\text{Si}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , $^{103,106}\text{Ru}$, ^{131}I , ^{137}Cs , ^{140}Ba , $^{141,144}\text{Ce}$, ^{144}Pr , ^{147}Pm , продукты реакций активации ^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{65}Zn , $^{238-241}\text{Pu}$ и ^{241}Am . Все они вносят вклад в облучение населения и окружающей среды, проникая в них разнообразными путями от места образования (атмосфера, океан, почво-грунты). К 1990 г. большая часть дозы от относительно короткожи-

вущих радионуклидов (^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{131}J , ^{144}Ce и др.) была уже сформирована, а значительная часть дозы от ^{90}Sn и ^{131}Cs была сформирована к 2000 г.

Размер частиц, радионуклидный и химический состав, структура и другие свойства материалов, образованных при ядерных взрывах, зависят от многих факторов – мощности и типа взрыва, механизма его поведения, а также состава и др. свойств среды, в которой проведен взрыв.

Формы образования ИРН при ядерных взрывах существенно зависят от их температур кипения (испарения). Из-за малого весового содержания продукты ЯВ в большинстве случаев не образуют самостоятельных частиц, а захватываются твердой фазой вещества огненного шара в процессе его конденсации. Они либо входят в состав этой фазы, либо адсорбируют на аэрозолях. При остывании огненного шара раньше всего начинают конденсироваться тугоплавкие химические элементы с наибольшими температурами кипения. Сюда относятся в первую очередь продукты активации (радионуклиды металлов) элементов конструкции. Они образуются как правило в виде довольно крупных сплавленных частиц и различных окислов, которые прочно и однородно фиксируются в сплавленный агломерат. Сюда следует также отнести довольно крупные фрагменты – так называемые «горячие частицы».

Это сферической или овальной формы образования, нерастворимые в воде и мало-растворимые в минеральных кислотах, имеющие высокую радиоактивность. В основном в них содержатся ИРН в виде окислов, которые быстрее конденсируются из-за высоких температур кипения. Размер частиц от 0,1 мкм до 70 мкм, активность частиц от единиц Бк до $\sim 10^3$ Бк, причем активность тем больше, чем больше размер частиц. В них обнаруживаются элементы Fe, Al, Ca, Si, а также Ti, Mn и др.

При постепенном снижении температуры газовой фазы ЯВ ИРН могут входить и в состав других химических соединений в результате взаимодействия с содержащимися в атмосфере парами воды, CO_2 , SO_4^{2+} , NO_3^- , F^- , Cl^- , Ca^{2+} , SiO_2 , металлами и органическим веществом. Образуются карбонаты, сульфиды, окислы.

Образующиеся при ядерных взрывах аэрозоли обогащены радионуклидами – продуктами деления и ^3H , который имеет наименьшую температуру конденсации паров и поэтому интенсивно поднимается с горячим воздухом на большую высоту, далеко распространяется от места взрыва и выпадает с осадками не сразу. Дальнейший перенос ИРН от места ЯВ во многом зависит от температуры конденсации (чем она ниже, тем дальше они распространяются в атмосфере), от состава и свойств веществ – носителей ИРН в атмосфере. Частицы достаточно большой массы распространяются в атмосфере на относительно небольшие расстояния (~ 100 м). Аэрозоли и чрезвычайно малые частицы выбрасываются в тропосферу и с воздушными потоками распространяются в глобальном масштабе. Среднее время пребывания в тропосфере ИРН ~ 30 час. Часть ИРН и самих тонкодисперсных частиц попадает в стратосферу, распределяется в ней довольно равномерно при перемешивании воздушных потоков и может переноситься из одного полушария в другое. Среднее время пребывания таких частиц в стратосфере ~ 2 лет.

Каждая из этих групп частиц выпадает на земную поверхность по-разному. В составе первой группы частиц достаточно большой массы в ближней к месту взрыва зоне выпадают преимущественно фрагменты ядерного заряда и элементов конструкции и с ними радионуклиды ядерного заряда и радионуклиды – продукты активации. На больших расстояниях от места взрыва выпадают частицы второй группы и с ними долгоживущие ИРН, такие как ^{90}Sr , ^{131}J , ^{140}Ba . В глобальном масштабе с частицами третьей группы выпадают на земную поверхность ^3H , ^{14}C , ^{90}Si , ^{137}Cs и радионуклиды плутония.

Различают две основные формы ИРН – водорастворимую (ионную) и нерастворимую (сплавленные частицы, коллоиды и др.). Соотношение между ними зависит от условий проводимого ЯВ, от физико-химических свойств ИРН и их носителей. Так, в вы-

падениях, содержащих высокие концентрации SO_4^{2-} увеличена доля ИРН в виде нерастворимых сульфатов (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce и др.).

В зависимости от указанных свойств содержания ИРН в нерастворимой фракции выпадение увеличивается в ряду $^{90}\text{Sr} < ^{137}\text{Cs} < ^{95}\text{Nb} < ^{144}\text{Ce}$ в ориентировочном соотношении 18:47:56:84. Это соотношение частично варьирует в зависимости от типа выпадения (осадки, снег, сухие выпадения), их химического состава и запыленности атмосферы.

От формы ИРН в растворимой фракции выпадения существенно зависит поведение их в водной среде, почвах и живых организмах. Водорастворимое состояние ИРН может быть катионным, анионным и нейтральным. Преобладающей формой в выпадениях 60-х годов являлась катионная (для основных ИРН от 50 до 100%), которая была представлена такими соединениями как хлориды, нитраты (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce), бикарбонаты (^{90}Sr); сульфаты (^{137}Cs). Доля анионной и нейтральной форм составляла в выпадениях от 0 до 54%, причем относительная доля ИРН в этой форме увеличивается в ряду $^{90}\text{Sr} < ^{137}\text{Cs} < ^{144}\text{Ce}$. Это, как правило, различные неорганические и органические комплексные соединения радионуклидов.

Большая часть радионуклидов – продуктов ЯВ, содержащихся в аэрозольной форме, способны вовлекаться в обменные процессы в биосфере, в том числе в водной среде, в почве, биологических объектах.

После термоядерных взрывов 60-х годов содержание ^3H в атмосфере увеличилось в десятки и сотни раз. Снижение его содержания в атмосфере после этого происходило за счет радиоактивного распада и атмосферных выпадений по экспоненциальному закону с периодом полураспада $\sim 1,2$ года. На содержание ^3H в атмосфере в значительной мере влияет также его вторичное поступление с земной поверхности в результате испарения.

^{90}Sr , $T_{1/2} = 28,6$ лет; чистый β -излучатель.

По химическим свойствам аналогичен кальцию, валентность 2^+ . В атмосфере при ядерных взрывах образуется в виде окисла, гидроокиси, солей (карбонаты, нитраты и сульфаты).

Выпадает из атмосферы практически полностью в водорастворимой форме (в 30 – 90%), причем наименьшая растворимость имеет место при ЯВ в атмосфере, наибольшая – при выпадениях от ЯВ у поверхности Земли. Растворимость ^{90}Sr твердой фазы осадков и сухих выпадений соответственно 5 – 6% и 12,0%.

Хорошая растворимость ^{90}Sr в выпадениях, видимо, вызвана взаимодействием возникающей при ЯВ окиси стронция с углекислотой и парами воды в атмосфере с образованием гидроокиси, карбоната и бикарбоната стронция. Часть ^{90}Sr при ЯВ фиксируется в составе силикатных конгломератов (при мощных ЯВ у поверхности Земли и достаточном времени для конденсации паров в огненном шаре). Со временем доля растворимых форм ^{90}Sr в выпадениях увеличивается вплоть до полного исчезновения твердой фазы. Значительная часть ^{90}Sr в выпадениях (до 85%) находится в катионной форме и способна к быстрому обмену с окружающей средой. Этим и объясняется значительное распространение в окружающей среде.

При попадании в воду ^{90}Sr распределяется между водой и взвешенным веществом с коэффициентом накопления около 100. Так, в морской воде ^{90}Sr на 85 – 90% содержится в самой воде в ионной форме, на $\sim 10\%$ - на взвесах и на $\sim 3\%$ - в коллоидной форме. Почти не концентрируется в водорослях, накопления в донных отложениях незначительные. В почвах отличается хорошей растворимостью и высокой подвижностью и в обменных формах содержится в почвенном растворе. Из-за химического сродства с биологически важным элементом (кальцием) и связанной с этим способностью интенсивно поглощаться растениями и откладываться в костной ткани животных и человека независимо от путей поступления, ^{90}Sr является одним из наиболее важных для радиоэкологии радионуклидов. Кроме того, у ^{90}Sr значительный период полураспада, высокий выход в акте деления (2 – 6%), высокая растворимость и скорость миграции.

^{137}Cs , $T_{1/2} = 30,1$ года.

По химическим свойствам аналогичен калию, валентность 1^+ .

При ЯВ образуется в виде хорошо растворимых в воде окислов и солей (карбонатов, нитратов и сульфатов). В глобальных выпадениях, в водорастворимой фракции содержится до 70% ^{137}Cs , в нерастворимой ~23%. В твердой фазе атмосферных осадков и в сухих выпадениях растворимость ^{137}Cs 43% и 88% соответственно.

Большая часть (до 60%) ^{137}Cs находится в катионной форме.

При попадании в водную среду ^{137}Cs глобального происхождения его активность распределяется между водной фазой и взвесью, причем коэффициент накопления на взвеси около 500. В морской воде около 70% ^{137}Cs находится в ионной форме, около 23% в адсорбированном состоянии на взвешах и ~7% - в коллоидах.

Слабо удерживается в воде и не накапливается в гидробионтах (коэффициент накопления $\ll 1$), но хорошо сорбируется донными отложениями. В больших или меньших количествах ^{137}Cs содержится практически во всех объектах внешней среды. В живых организмах концентрируется преимущественно в мягких тканях.

^{41}Y , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{103}Rh , ^{106}Rn , ^{131}J , ^{140}Ba и др.

Эти радионуклиды, как и другие продукты деления, образующиеся при ЯВ в результате взаимодействия с кислородом, азотом, углекислотой и влагой, образуют окисы, гидроксиды и простые соли. Так, ^{41}Y образует Y_2O_3 , $\text{Y}(\text{OH})_3$, $\text{Y}_2(\text{CO}_3)_3$ и др., а ^{95}Zr – ZrO_2 , $\text{Zr}(\text{OH})_4$, $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$, ZrOCO_3 , $\text{Zr}(\text{SO}_4)_2$, ZrOCl_2 .

Первичные частицы могут стать центром конденсации или войти в состав более крупных частиц. В глобальных выпадениях соотношение растворимой и нерастворимой фракций для этих радионуклидов различно. Типичным примером являются выпадения ^{95}Zr , в которых 29% находится в растворимой, а 68% - в нерастворимой фракции.

Особым случаем является ^{131}J . Химическая форма его существования в атмосфере во многом определяется температурой, окислительным или восстановительным состоянием атмосферы, свойствами контактирующими с ним материалов. При наличии водяных паров может быть в молекулярной форме (адсорбируется на ядрах конденсации – аэрозолях). Крупные аэрозольные частицы осаждаются в районе ЯВ. Небольшая часть ^{131}J реагирует с органическим веществом и образует органические иодиды.

При переходе радионуклидов в водную среду они могут адсорбироваться на взвешах, находиться в ионной или коллоидной форме. Коэффициенты концентрирования радионуклидов на взвешах очень высоки (для радионуклидов циркония и рутения $\sim 10^4$). В общем, эта группа радионуклидов на 95 – 100% находится в воде в адсорбированном на взвеси состоянии и лишь на 3 – 5% - в коллоидной форме (входят в их состав или адсорбируются на них).

^{131}J в водной среде находится преимущественно (на ~90%) в ионной форме и лишь на ~8% в коллоидной.

Некоторые радионуклиды этой группы могут находиться в различных формах в соизмеримых долях. Так, ^{132}Te на 43 – 45% находится в ионной и коллоидной формах и на ~12% в адсорбированном на взвешах состоянии.

^{131}J как аналог биологически активного стабильного йода обладает высокой миграционной способностью. В организмы поступает через поверхности организмов или через органы дыхания, концентрируется во многих водных растениях.

^{140}La , ^{143}Pr , ^{144}Ce , ^{142}Pm и др.

Эти радионуклиды редкоземельных элементов образуют при ЯВ, как и многие другие, окисы и простые соли. Так, радионуклиды церия образуют CeO_2 , Ce_2O_3 , $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$, CeCl_3 и др.. Наиболее характерная форма существования ^{144}Ce – CeO_2 .

В выпадениях ^{144}Ce содержится почти одинаково в растворимой фракции (~42%) и нерастворимой (~51% и более). В твердой фракции осадков и сухих выпадениях раство-

римость ^{144}Ce высокая – соответственно, 73% и 95%. Большая часть этого радионуклида в выпадениях находится в ионной форме.

При переходе в водную среду ИРН редкоземельных элементов фиксируются преимущественно (до 75%) на взвесах в адсорбированном состоянии и лишь небольшие части находятся в ионной (~2%) и коллоидной (~4%) формах. Коэффициенты концентрирования на взвеси ^{144}Ce , например, около 7000.

^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{56}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn .

Эти и другие продукты активации образуются при ЯВ как правило, в виде относительно крупных сплавленных частиц, различных окислов, которые прочно фиксируют эти радионуклиды. Основная валентность 2^+ и 3^+ . Кроме окислов и гидроокисей могут образовывать соли, например, хлориды.

Играют исключительно важную роль в жизни организмов, особенно водных. Для всех этих радионуклидов характерны большие величины коэффициентов накопления ($\sim 10^4$) в морских организмах и поэтому они могут играть существенную роль в радиоэкологии водных экосистем.

Физико-химические состояния и формы нахождения этих радионуклидов в природных условиях очень разнообразны. Особую роль играет их способность образовывать сложные координационные комплексы со многими органическими функциональными группами.

Имеются данные о миграции этих радионуклидов в водных экосистемах. В водной среде легко адсорбируются на взвесах. Распределение этих радионуклидов между фракциями (растворимой, адсорбированной и коллоидной) сильно варьирует в зависимости от условий. Для радионуклидов железа и марганца формы их существования и поведения в морской воде обусловлены присутствием в ней этих элементов.

Так, ^{51}Cr мигрирует в речных и морских водах в виде ионов Cr^{3+} , CrO_4^{2-} , HCrO_4^- , гидроокиси $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, а также в составе взвесей и планктонных организмов. Во взвешенном состоянии обнаруживается около 25% ^{51}Cr . Радионуклид ^{60}Co прочно связывается с донными отложениями, содержание в воде очень мало (меньше, чем ^{137}Cs), слабо накапливается в гидробионтах (коэффициент накопления < 1). Из-за высоких коэффициентов накопления в водных организмах радионуклиды этой группы содержатся в значительных количествах, особенно в зонах «цветения» фитопланктона, где биомасса достигает $> 10 \text{ г/м}^3$.

^{238}Pu , $T_{1/2} = 87,44$ года; ^{239}Pu , $T_{1/2} = 24110$ лет; ^{240}Pu , $T_{1/2} = 6530$ лет;

^{241}Pu , $T_{1/2} =$; ^{241}Am , $T_{1/2} = 432,2$ года.

Все эти радионуклиды являются α -излучателями.

При ядерных взрывах наибольшие выходы имеют ^{234}Pu ($84 \div 94\%$) и ^{240}Pu ($6 \div 15\%$), меньший выход имеет ^{241}Pu ($0,3 \div 1,1\%$) и, соответственно, продукт его распада ^{241}Am . Они являются особенно опасными продуктами ядерных взрывов как в силу больших периодов полураспада, так и токсических свойств при поступлении внутрь организма через органы дыхания.

На земную поверхность поступают в виде так называемых «горячих» частиц – достаточно крупных фрагментов ядерного взрывного устройства. Эти частицы почти нерастворимы в воде и только по мере разложения переходят в подвижное состояние. Состояния в почвах радионуклидов трансурановых элементов самые различные, в том числе водорастворимые (обменное и подвижное).

Контрольные вопросы:

1. Расскажите про наиболее значимые для радиоэкологии космогенные радионуклиды ^3H , ^7Be , ^{14}C образуются в атмосфере.
2. Расскажите про источники радионуклидов земного происхождения (^{40}K , радионуклиды семейств ^{238}U и ^{232}Th).
3. Расскажите про радионуклиды – продукты реакций синтеза и деления – ^3H , $^{84,90}\text{Si}$, ^{95}Zr , ^{95}Nb , $^{103,106}\text{Ru}$, ^{131}J , ^{137}Cs , ^{140}Ba , $^{141,144}\text{Ce}$, ^{144}Pr , ^{147}Pm ,
4. Расскажите про продукты реакций активации ^{14}C , ^{54}Mn , ^{55}Fe , ^{65}Zn , $^{238-241}\text{Pu}$ и ^{241}Am .

Литература:

1. Алексахин Р.М. Ядерная энергетика и биосфера. М. Энергоиздат, 1982.-81 с.
2. Кудряшев Ю.Б. Радиационная биофизика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
3. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: Бином, 2006.
4. Сахаров В.К. Радиоэкология. СПб.: Издательство «Лань», 2006.

ЛЕКЦИЯ 8. «ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ: СТРОНЦИЙ-90, ЦЕЗИЙ-137, ПЛУТОНИЙ. ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ: КАЛИЙ-40, РАДИЙ-226, УРАН-238, ТОРИЙ -230. ЗОНЫ ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ».

- 1. Характеристика искусственных радионуклидов: стронций-90, цезий-137, плутоний.*
- 2. Характеристика естественные радионуклиды: калий-40, радий-226, уран-238, торий -230*
- 3. Зоны повышенного содержания естественных радионуклидов.*

1. Характеристика искусственных радионуклидов: стронций-90, цезий-137, плутоний.

Свойства радионуклида ^{90}Sr

Стронций -9(^{90}Sr) — чистый бета-излучатель с периодом полураспада 29.12 лет. ^{90}Sr может находиться в растворимой и нерастворимой в воде формах. На стронций-90 приходится значительная часть активности в смеси продуктов ядерного взрыва: 35% суммарной активности сразу после взрыва и 25% через 15-20 лет. Практически весь попавший в организм стронция-90 центрируется в костной ткани. Объясняется это тем, что стронций — химический аналог кальция, а соединения кальция — основной минеральный компонент кости. У детей минеральный обмен в костных тканях интенсивней, чем у взрослых, поэтому в их скелете стронций-90 накапливается в большем количестве, но и выводится быстрее.

Для человека период его полувыведения стронция-90 - 90-154 суток. От депонированного в костной ткани стронция-90 страдает, в первую очередь, красный костный мозг - основная кроветворная ткань, которая к тому же очень радиочувствительная. От стронция-90 накопленного в тазовых костях, облучаются генеративные ткани. Поэтому для этого радионуклида установлены низкие ПДК — примерно в 100 раз ниже, чем для цезия-137. В организм стронций-90 поступает только с пищей, причем в кишечнике всасывается до 20% от его поступления. Наибольшее содержание этого радионуклида в костной ткани жителей северного полушария было фиксировано в 1963-1965 гг. Тогда этот скачок был вызван глобальными выпадениями радиоактивных осадков от интенсивных испытаний ядерного оружия в атмосфере в 1961-1962 гг.

Миграция стронция-90 в почвах

Радионуклид ^{90}Sr характеризуется большей подвижностью в почвах. Поглощение ^{90}Sr в почвах в основном обусловлено ионным обменом. Большая часть задерживается в верхних горизонтах. Скорость миграции его по почвенному профилю зависит от физико-химических и минералогических особенностей почвы. При наличии в почвенном профиле перегнойного горизонта, расположенного под слоем подстилки или дернины, ^{90}Sr концентрируется в этом горизонте. В таких почвах, как дерново-подзолистая песчаная, перегнойно-торфянисто-глеевая суглинистая на песке, черноземно-луговая оподзоленная, выщелоченный чернозем, наблюдается некоторое увеличение содержания радионуклида в верхней части иллювиального горизонта. В засоленных почвах появляется второй максимум, что связано с меньшей растворимостью сульфата стронция и его подвижностью. В верхнем горизонте он задерживается в солевой корке. Концентрирование в перегнойном горизонте объясняется высоким содержанием гумуса, большой величиной емкости поглощения катионов и образованием малоподвижных соединений с органическим веществом почв. В модельных экспериментах при внесении ^{90}Sr в разные почвы, помещенные в вегетационные сосуды, было установлено, что скорость его миграции в условиях опыта возрастает с увеличением содержания обменного кальция. Повышение миграционной спо-

способности ^{90}Sr в почвенном профиле при увеличении содержания кальция наблюдалось и в полевых условиях. Миграция стронция-90 возрастает также с увеличением кислотности и содержания органического вещества.

Миграция стронция-90 в растения

В миграции ^{90}Sr большую роль играет лесная растительность. В период интенсивных радиоактивных выпадений после аварии на ЧАЭС деревья выполняют роль экрана, на котором осаждались радиоактивные аэрозоли. Задержанные поверхностью листьев и хвои радионуклиды поступают на поверхность почвы с опавшими листьями и хвоей. Особенности лесной подстилки оказывают существенное влияние на содержание и распределение стронция-90. В листовых подстилках содержание ^{90}Sr постепенно падает от верхнего слоя к нижнему, в хвойных происходит значительное накопление радионуклида в нижней гумусированной части подстилки.

Свойства радионуклида ^{137}Cs

Цезий-137 - бета-излучатель с периодом полураспада 30.174 года. ^{137}Cs открыт в 1860 г. немецкими учеными Кирхгофом и Бунзеном. Название получил от латинского слова *caesius* — голубой, по характерной яркой линии в синей области спектра. В настоящее время известно несколько изотопов цезия. Наибольшее практическое значение имеет ^{137}Cs , один из наиболее долгоживущих продуктов деления урана.

Ядерная энергетика является источником поступления ^{137}Cs в окружающую среду. Выброс ^{137}Cs осуществляется не только в атмосферу, но и в океаны с атомных подводных лодок, танкеров, ледоколов, оснащенных ядерно-энергетическими установками. Естественно, что при крупных авариях, происшедших с двумя атомными подводными лодками США («Третер» в 1963 году и «Скорпион» в 1967), большая часть радиоактивных веществ, включая ^{137}Cs , могла поступить в воду и явиться источником длительного загрязнения.

Радиоизотопы цезия применяются в химических исследованиях, в радиационной технологии, в радиобиологических экспериментах. ^{137}Cs используется как источник - излучения для контактной и дистанционной лучевой терапии, а также для радиационной стерилизации. Изотопы цезия при любом пути поступления в организм хорошо всасываются.

Биологическое действие ^{137}Cs

Изотопы цезия, являясь продуктами деления урана, включаются в биологический круговорот и свободно мигрируют по различным биологическим цепочкам. В настоящее время ^{137}Cs обнаруживается в организме различных животных и человека. Следует отметить, что стабильный цезий входит в состав организма человека и животных в количествах от 0,002 до 0,6 мкг на 1 г мягкой ткани.

Всасывание ^{137}Cs в ЖКТ животных и человека составляет 100%. В отдельных участках ЖКТ всасывание ^{137}Cs происходит с различной скоростью. По данным ученых через час после введения всасывается по отношению к введенной дозе: в желудке всасывается 7% ^{137}Cs , в двенадцатиперстной кишке—77%, в тощей—76%, в подвздошной—78%, в слепой—13%, в поперечно-ободочной кишке—39%.

Через дыхательные пути в организм человека поступление ^{137}Cs составляет 0,25% величины, поступающей с пищевым рационом. После перорального поступления цезия значительные количества всосавшегося радионуклида секретируются в кишечник, затем реабсорбируются в нисходящих отделах кишечника. Степень реабсорбции цезия может существенно различаться у разных видов животных. Поступив в кровь, он сравнительно равномерно распределяется по органам и тканям. Путь поступления и вид животного не влияют на характер распределения изотопа.

Л. А. Булдаков, Г. К. Королев считают, что изотопы цезия больше всего накапливаются в мышцах. По данным Ю. И. Москалева после внутривенного введения ^{137}Cs быстро

покидает кровяное русло. В первые 10 - 30 мин максимальная концентрация его регистрируется в почках (7-10% в 1 грамме ткани). Затем происходит перераспределение его, и основные количества — до 52,2% — задерживаются в мышечной ткани.

Определение ^{137}Cs в организме человека проводят по измерению гамма-излучения от тела и бета-, гамма-излучению от выделений (моча, кал). Для этой цели используют бета-гамма-радиометры и счетчик излучений человека (СИЧ). По отдельным пикам спектра, соответствующим различным гамма-излучателям, можно определить их активность в организме. С целью профилактики радиационных поражений ^{137}Cs все работы с жидкими и твердыми соединениями рекомендуется проводить в герметичных боксах. Для предупреждения попадания цезия и его соединений внутрь организма необходимо использовать средства индивидуальной защиты и соблюдать правила личной гигиены.

Неотложная помощь при остром поражении изотопами цезия

Неотложная помощь при поражении изотопами ^{137}Cs заключается в дезактивации рук и лица водой с мылом, моющими порошками «Эра», «Астра». Необходимо провести промывание носоглотки и ротовой полости водой или физиологическим раствором.

Для ускорения выведения цезия из организма рекомендуют применять в качестве сорбентов: ферроцин, 1,0: 100 мл воды, или бентонит, 20,0: 200 мл воды, с последующим вызыванием рвоты (1 % -ный апоморфин — 0,5 мл под кожу), или обильное промывание желудка водой. После очистки желудка повторное назначение курса лечения ферроцином (1,0 г 2—3 раза в сутки в течение 15—20 суток). В тяжелых случаях гемодиализ (применение аппарата «Искусственная почка»). Всемерное повышение водносолевого обмена. Назначение ацетата калия, 30,0: :200,0, по 1 столовой ложке 5 раз в день. Калиевая диета (изюм, курага) Внутривенное введение лимоннокислого натрия 10% -ного — 2 - 3 мл. Мочегонные с водной нагрузкой. Внутрь димедрол 0,05 г, антибиотики.

Допустимое поступление ^{137}Cs в организм человека не должно превышать $7,4 \times 10^2$ Бк/сутки. Допустимое годовое поступление ^{137}Cs в организм персонала через органы дыхания составляет $13,3 \times 10^4$ Бк/год. Допустимая концентрация ^{137}Cs в воздухе рабочих помещений $5,18 \times 10^{-1}$ Бк/л, в воде — $5,5 \times 10^2$ Бк/л, в атмосферном воздухе 18×10^{-3} Бк/л.

Миграция ^{137}Cs в почвах

Выпавший, на почву ^{137}Cs прочно удерживается в верхнем гумусированном слое. Со временем происходят его физико-химические превращения, осуществляется миграция по почвенному профилю, накопление растительностью. Для цезия характерно поглощение минеральной частью почв. Элемент внедряется в кристаллические решетки глинистых минералов, прочно связываясь там самой тонкодисперсной частью почвы. Сорбция цезия почвенным поглощающим комплексом после его выпадения в почву осуществляется в первое время крупнодисперсными частицами, смещаясь затем в сторону поглощения мелкодисперсной фракцией. Прочно связывается цезий почвенной органикой, образуя, в частности, гуматы и фульваты. Последние характеризуются значительно большей подвижностью. Увеличивают подвижность металла водорастворимые органические вещества, образующиеся при разложении растительности. При миграции цезия в глубь почвенного горизонта выделяют два типа массопереноса - быстрый (обусловленный передвижением металла вместе с тонкодисперсными частицами) и медленный (обусловленный передвижением водорастворимых форм). В силу незначительной гидролиза сорбция ^{137}Cs слабо зависит от pH почвенного раствора.

Отмечено накопление ^{137}Cs в пойменных почвах, обусловленное дополнительным привнесением с механическими взвесями во время паводков. В пойменных почвах ^{137}Cs , как правило, задерживается в верхнем 5-сантиметровом слое. Однако в тех случаях, когда поверхностные горизонты пойменных почв представлены слоями легкого механического состава с низким содержанием гумуса, ^{137}Cs выщелачивается из этих горизонтов и задерживается в нижележащих. Миграционная способность ^{137}Cs повышена и в некоторых торфяных почвах, где он энергично поступает в растения. Японские исследователи отмечают факты проникновения ^{137}Cs в породы (невыветрелые базальты) на глубину 3-5 см.

Накопление радионуклида ^{137}Cs растениями

Цезий хорошо поглощается растительностью, коэффициент накопления элемента в урожае сельскохозяйственных культур может достигать 100%; накопление идет в основном в надземной фитомассе (до 60% поглощенного элемента). На супесчаных почвах ^{137}Cs в 7 раз более доступен для растений, чем ^{137}Cs . Интенсивное вовлечение элемента в биологический круговорот обусловлено кислотностью полесских ландшафтов, благоприятствующих физиологическому накоплению металла организмами, подвижностью металла, а также его аналогией с калием – биохимически активным элементом, дефицит которого в полесских ландшафтах ярко выражен, но который жизненно необходим растениям.

Плутоний

Плутоний, элемент с порядковым номером 94, открыт Гленом Сиборгом, в 1940 году в Беркли. В декабре 1940 года был открыт изотоп плутония Pu-238, с периодом полураспада ~90 лет, через год - более важный Pu-239 с периодом полураспада ~24 000 лет.

Pu-239 присутствует в природном уране в виде следов (количество - одна часть на 10^{15}), образуется он там в результате захвата нейтрона ядром U-238. Чрезвычайно малые количества Pu-244 (самого долгоживущего изотопа плутония, период полураспада 80 миллионов лет) были обнаружены в цериевой руде, по видимому, оставшиеся там со времен формирования Земли. Всего известно 15 изотопов плутония, все радиоактивны. Самые значимые для проектирования ядерного оружия:

Pu²³⁸ -> (86 лет, альфа-распад) -> U²³⁴
Pu²³⁹ -> (24 360 лет, альфа-распад) -> U²³⁵
Pu²⁴⁰ -> (6580 лет, альфа-распад) -> U²³⁶
Pu²⁴¹ -> (14.0 лет, бета-распад) -> Am²⁴¹
Pu²⁴² -> (370 000 лет, альфа-распад) -> U²³⁸

Физические свойства плутония

Плутоний - очень тяжелый серебристый металл, блестящий подобно никелю, когда только что очищен. Это крайне электроотрицательный, химически активный элемент, гораздо в большей степени, чем уран. Он быстро тускнеет, образуя радужную пленку (подобно радужной масляной пленки), вначале светло-желтую, со временем переходящую в темно-пурпурную. Если окисление довольно велико, на его поверхности появляется оливково-зеленый порошок оксида (PuO₂).

Плутоний охотно окисляется, и быстро корродирует даже в присутствии незначительной влажности. Странно, но он покрывается ржавчиной в атмосфере инертного газа с парами воды гораздо быстрее, чем на сухом воздухе или в чистом кислороде. Причина этого - прямое действие кислорода формирует на поверхности плутония слой оксида, мешающий дальнейшему окислению. Воздействие же влаги производит рыхлую смесь из оксида и гидроксида. Для предотвращения окисления и коррозии требуется сушильная печь.

Плутоний имеет четыре валентности, III-VI. Хорошо растворяется только в очень кислых средах, таких как азотная или соляная кислоты, так же хорошо растворяется в йодистоводородной и хлорной кислотах. Плутониевые соли легко гидролизуются при контакте с нейтральными или щелочными растворами, создавая нерастворимую гидроксид плутония. Концентрированные растворы плутония нестабильны, в следствии радиолитического разложения, ведущего к выпадению осадка.

Вследствие своей радиоактивности, плутоний теплый на ощупь. Большой кусок плутония в термоизолированной оболочке разогревается до температуры, превышающей температуру кипения воды.

Основные физические свойства плутония:

Температура плавления: 641 °С;

Температура кипения: 3232 °С;

Плотность: 19.84 (в альфа-фазе).

Плутоний имеет множество специфических свойств. Он обладает самой низкой теплопроводностью из всех металлов, самой низкой электропроводностью, за исключением марганца (по другим данным все же самой низкой из всех металлов). В своей жидкой фазе это самый вязкий металл.

При изменении температуры плутоний подвергается самым сильным и неестественным изменениям плотности. Плутоний обладает шестью различными фазами (кристаллическими структурами) в твердой форме, больше чем любой другой элемент (в действительности, по более строгим условиям, их семь). Некоторые переходы между фазами сопровождаются разительными изменениями объема. В двух из этих фаз - дельта и дельта прим - плутоний обладает уникальным свойством сжиматься при повышении температуры, а в остальных - имеет чрезвычайно большой температурный коэффициент расширения. При расплавлении плутоний сжимается, позволяя нерасплавленному плутонию плавать. В своей максимально плотной форме, альфа фазе, плутоний шестой по плотности элемент (тяжелее его только осмий, иридий, платина, рений и нептуний). В альфа фазе чистый плутоний хрупок, но существуют его гибкие сплавы.

К концу 1995 года в мире было произведено в общей сложности около 1270 тонн плутония, из которого 257 т для оружейного использования, остальное - побочный продукт АЭС.

Кроме своего оружейного назначения, плутоний может потенциально применяться для производства электроэнергии. Единственную крупную программу по энергетическому использованию плутония имеет только Япония. Это показывает его экономическую неконкурентоспособность по сравнению с ураном в течении десятилетий, по следующим причинам. Стоимость переработки реакторного топлива для извлечения плутония значительно выше, чем цена низкообогащенного урана. Большинство сегодняшних предприятий не оборудованы инструментарием для работы с более опасным для жизни оксидом плутония. Стоимость охраны плутония для предотвращения кражи или диверсии с целью его оружейного применения весьма существенна. Существующие энергетические реакторы могут работать с топливом, содержащим довольно малую величину плутония, представляющую небольшую ценность, и стоимость проектирования и строительства новых реакторов так же весьма велика. Текущая достаточная поставка урана, наличие больших обогатительных мощностей и большие запасы оружейного урана в США и России, который разбавляется для изготовления коммерческого топлива, гарантируют твердые цены на уран в последующие 20-30 лет.

Плутоний имеет и несколько других применений. Самое широко распространенное из них - в радиоизотопных дымовых детекторах в Европе (в США такие же детекторы изготавливаются из америция из-за его более короткого времени полураспада). Плутониево-бериллиевый сплав работает как лабораторный источник нейтронов. Изотоп Pu-238 находится в ряде атомных термоэлектрических генераторах энергии на борту космических исследовательских аппаратов, благодаря долгому времени жизни и высокой тепловой мощности.

Плутоний - элемент практически отсутствующий в природе. Однако около 5000 кг его выделилось в атмосферу в результате ядерных испытаний. По некоторым оценкам, почва в США содержит в среднем 2 милликюри (28 мг) плутония на км² от выпадения радиоактивных осадков.

Токсичность плутония

Хотя плутоний, по-видимому, химически токсичен, как и любой тяжелый металл, этот эффект выражается слабо по сравнению с его радиотоксичностью. Токсические свойства плутония появляются как следствие альфа-радиоактивности. Альфа-частицы представляют серьезную опасность только в том случае, если их источник находится в теле (т.е. плутоний должен быть принят внутрь). Хотя плутоний излучает еще и гамма-лучи и нейтроны, которые могут проникать в тело снаружи, уровень их слишком мал, чтобы причинить сильный вред.

Альфа-частицы повреждают только ткани, содержащие плутоний или находящиеся в непосредственном контакте с ним. Значимы два типа действия: острое и хроническое отравления. Если уровень облучения достаточно высок, ткани могут страдать острым отравлением, токсическое действие проявляется быстро. Если уровень низок, создается накапливающийся канцерогенный эффект.

Плутоний очень плохо всасывается желудочно-кишечным трактом, даже когда попадает в виде растворимой соли, впоследствии она все равно связывается содержимым желудка и кишечника. Загрязненная вода, из-за предрасположенности плутония к осаждению из водных растворов и к формированию нерастворимых комплексов с остальными веществами, имеет тенденцию к самоочищению.

Поглощение 500 мг плутония как мелкораздробленного или растворенного материала может привести к смерти от острого облучения пищеварительной системы за несколько дней или недель. Вдыхание 100 мг плутония в виде частиц оптимального для удержания в легких размера ведет к смерти от отека легких за 1-10 дней. Вдыхание дозы в 20 мг ведет к смерти от фиброза примерно за 1 месяц. Для доз много меньших этих величин проявляется хронический канцерогенный эффект.

Для хронического действия, плутоний должен долгое время присутствовать в организме человека. Вдыхание частиц подходящего для удержания в легких размера (1-3 микрона) весьма вероятно ведет к постоянному нахождению их там (детонация взрывчатки, не повлекшая за собой ядерный взрыв, может превратить 20-50% плутония в такую форму). Самая вероятная химическая форма, попадающая в тело, это оксид плутония. Оксид используется в реакторном топливе и частицы металлического плутония быстро окисляются на воздухе. Оксид почти нерастворим в воде.

На протяжении всей жизни риск развития рака легких для взрослого примерно зависит от количества попавшего в тело плутония. Прием внутрь 1 микрограмма плутония представляет риск в 1% развития рака (нормальная вероятность рака 20%). Соответственно 10 микрограмм увеличивают риск рака с 20% до 30%. Попадание 100 микрограмм или более виртуально гарантируют развитие рака легких (обычно через несколько десятилетий), хотя свидетельства повреждения легких могут появиться в течении нескольких месяцев.

Плутоний обычно содержится в биологических системах в степени окисления +4, имея химическое сходство с Fe^{3+} . Если он проникнет в систему кровообращения, то с большой вероятностью начнет концентрироваться в тканях, содержащих железо: костном мозге, печени, селезенке. Если 1.4 микрограмма разместятся в костях взрослого человека, в результате ухудшится иммунитет и через несколько лет может развиваться рак. Международная комиссия по радиологической защите установила норму ежегодного поглощения на уровне 280 нанограмм. Это значит, что для профессионального облучения концентрация плутония в воздухе не должна превышать 7 пикокюри/м³. Максимально допустимая концентрация Pu-239 (для профессионального персонала) 40 нанокюри (0.56 микрограмма) и 16 нанокюри (0.23 микрограмма) для легочной ткани.

Период биологического полувыведения плутония 80-100 лет при нахождении в костной ткани, т.о. концентрация его там практически постоянна. Период полувыведения из печени - 40 лет. Хелатные добавки могут ускорить выведение плутония.

2. Характеристика естественные радионуклиды: калий-40, радий-226, уран-238, торий -230.

Калий-40 (лат. *Kalium-40*) — радиоактивный изотоп химического элемента калия с атомным номером 19 и массовым числом 40. Изотопная распространённость калия-40 в природе составляет 0,0117(1) %^[2]. Удельная активность 1 грамма ⁴⁰K равна $2,652 \cdot 10^5$ Бк.

Образование и распад. Весь имеющийся на Земле калий-40 образовался одновременно с возникновением самой планеты и с тех пор постепенно распадался. Своим существованием на сегодняшний день нуклид обязан большому периоду полураспада ($1,248 \cdot 10^9$ лет).

Распад калия-40 происходит по двум направлениям:

- β^- -распад (вероятность 89,28 %):
- Захват электрона (вероятность 10,72 %)

Биологическая роль. Калий-40 вынужденно присутствует в живых организмах наряду с другими изотопами калия. Концентрация этого элемента в питьевой воде составляет $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ мг/л, что приводит к радиоактивности воды на уровне $2 \cdot 10^{-12}$ Ки/л. Эта величина чрезвычайно мала и не ведёт к каким-либо вредным последствиям для организма. Наличие калия-40 в теле человека обуславливает его природную радиоактивность на уровне 4-5 кБк в зависимости от массы. Это примерно 80-85 % всей радиоактивности организма. Оставшаяся часть исходит от изотопа ¹⁴C.

Природный калий состоит в основном из двух стабильных изотопов: ³⁹K (93.26 %) и ⁴¹K (6.73 %), однако калий содержит также небольшое количество радиоактивного изотопа ⁴⁰K (0.01 %). Изотоп калий-40 является бета-активным и имеет период полураспада $1.251 \cdot 10^9$ лет.

Несмотря на невысокое содержание изотопа ⁴⁰K в природном калии и довольно большой период его полураспада, радиоактивность калия можно легко обнаружить даже с помощью простых приборов. В грамме природного калия каждую секунду происходит 32 распада ядер калия-40. Это соответствует радиоактивности 32 беккереля, или 865 пикокюри. Считается, что радиоактивный распад ⁴⁰K является одним из основных источников геотермальной энергии, которая выделяется в недрах Земли (мощность оценивается в 44 ТВт). В минералах, содержащих калий, постепенно накапливается изотоп ⁴⁰Ar, который является продуктом распада ⁴⁰K. Измеряя соотношение между изотопами ⁴⁰K и ⁴⁰Ar можно измерять возраст горных пород. На этом принципе основан калий-аргоновый метод определения возраста, который является одним из основных методов ядерной геохронологии.

С другой стороны, калий является одним из важнейших биогенных элементов, которые необходимы для всего живого. Разумеется, вместе со стабильными изотопами калия в живые организмы попадает и радиоактивный ⁴⁰K. Например, за счет калия-40 в организме человека весом 70 кг ежесекундно происходит около 4000 радиоактивных распадов.

К числу продуктов с повышенной естественной радиоактивностью принадлежат также и бананы. Средний банан содержит 3520 пикокюри на килограмм веса, или примерно 520 пикокюри в 150-граммовом банане. Эквивалентная доза в 365 бананах (один в день в течение года) составляет 3.6 миллибэра или 36 микрозивертов. Основная причина радиоактивности бананов - природный изотоп калий-40. Радиоактивность бананов неоднократно вызывала ложные срабатывания детекторов радиации, используемых для предотвращения незаконного ввоза радиоактивных материалов в США.

В ядерной энергетике даже используется термин "**банановый эквивалент**". Банановый эквивалент соответствует количеству радиоактивных изотопов, которые попадают в организм при съедании одного банана.

Следует, однако, учитывать, что подобное сравнение очень условно, поскольку излучение различных радиоактивных изотопов с точки зрения биологического действия отнюдь не эквивалентно. Кроме того, есть основания считать, что съеденный банан не повышает уровня радиации в организме, поскольку избыточный калий, полученный из банана, приводит к выводу из организма в процессе метаболизма эквивалентного количества изотопа ^{40}K .

Радий — 226 — блестящий щёлочноземельный металл серебристо-белого цвета, быстро тускнеющий на воздухе. Обладает высокой химической активностью. Радиоактивен; наиболее устойчив нуклид ^{226}Ra (период полураспада около 1600 лет).

Первое сообщение об открытии радия (в виде смеси с барием) Кюри сделали 26 декабря 1898 года во Французской Академии наук. В 1910 году Кюри и Андре Дебьерн выделили чистый радий путём электролиза хлорида радия на ртутном катоде и последующей дистилляции в водороде. Выделенный элемент представлял собой, как сейчас известно, изотоп радий-226, продукт распада урана-238. За открытие радия и полония супруги Кюри получили Нобелевскую премию. Радий образуется через многие промежуточные стадии при радиоактивном распаде изотопа урана-238 и поэтому находится в небольших количествах в урановой руде.

В России радий впервые был получен в экспериментах известного советского радиохимика В. Г. Хлопина. В 1918 году на базе Государственного рентгеновского института было организовано Радиевое отделение. Это отделение в 1922 году получило статус отдельного научного института. Одной из задач Радиевого института были исследования радиоактивных элементов, в первую очередь — радия. Директором нового института стал В. И. Вернадский, его заместителем — В. Г. Хлопин, физический отдел института возглавил Л. В. Мысовский.

Многие радионуклиды, возникающие при радиоактивном распаде радия, до того, как была выполнена их химическая идентификация, получили наименования вида радий А, радий В, радий С и т. д. Хотя сейчас известно, что они представляют собой изотопы других химических элементов, их исторически сложившиеся названия по традиции иногда используются:

	Изотоп
Эманация радия	^{222}Rn
Радий А	^{218}Po
Радий В	^{214}Pb
Радий С	^{214}Bi
Радий С ₁	^{214}Po
Радий С ₂	^{210}Tl
Радий D	^{210}Pb
Радий E	^{210}Bi
Радий F	^{210}Po

Названная в честь Кюри внесистемная единица радиоактивности распадов в секунду, или 37 ГБк ранее была основана на активности 1 г радия-226. Но так как активность 1 г радия-226 примерно на 1,3% меньше, чем 1 Ки, в настоящее время эта единица определяется как 37 миллиардов распадов в секунду (точно).

Происхождение названия: название «радий» связано с излучением ядер атомов Ra(— луч).

Нахождение в природе. Радий довольно редок. За прошедшее с момента его открытия время — более столетия — во всём мире удалось добыть всего только 1,5 кг чистого радия. Одна тонна лет)/(1602 года)=2,789. Таким образом, на каждые три миллиона ато-

мов урана в природе приходится лишь один атом радия или 1,02 мкг/т (кларк в земной коре).

Геохимия радия во многом определяется особенностями миграции и концентрации урана, а также химическими свойствами самого радия — активного щёлочноземельного металла. Среди процессов, способствующих концентрированию радия, следует указать в первую очередь на формирование на небольших глубинах геохимических барьеров, в которых концентрируется радий. Такими барьерами могут быть, например, сульфатные барьеры в зоне окисления. Поднимающиеся снизу хлоридные сероводородные радийсодержащие воды в зоне окисления становятся сульфатными, радий осаждается с BaSO_4 и CaSO_4 , где он становится практически нерастворимым постоянным источником радона. Из-за высокой миграционной способности урана и способности его к концентрированию, формируются многие типы урановых рудообразований в гидротермах, углях, битумах, углистых сланцах, песчаниках, торфяниках, фосфоритах, бурых железняках, глинах с костными остатками рыб (литофациями). При сжигании углей зола и шлаки обогащаются ^{226}Ra . Также содержание радия повышено в фосфатных породах.

В результате распада урана и тория и выщелачивания из вмещающих пород в нефти постоянно образуются радионуклиды радия. В статическом состоянии нефть находится в природных ловушках, обмена радием между нефтью и подпирающими её водами нет (кроме зоны контакта вода-нефть) и в результате имеется избыток радия в нефти. При разработке месторождения пластовые и закачиваемые воды интенсивно поступают в нефтяные пласты, поверхность раздела вода-нефть резко увеличивается и в результате радий уходит в поток фильтрующихся вод. При повышенном содержании сульфат-ионов растворенные в воде радий и барий осаждаются в виде радиобарита $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$, который выпадает на поверхности труб, арматуры, резервуаров. Типичная объёмная активность поступающей на поверхность водонефтяной смеси по ^{226}Ra и ^{228}Ra может быть порядка 10 Бк/л (соответствует жидким радиоактивным отходам).

Основная масса радия находится в рассеянном состоянии в горных породах. Радий — химический аналог щелочных и щёлочноземельных породообразующих элементов, из которых состоят полевые шпаты, составляющие половину массы земной коры. Калиевые полевые шпаты — главные породообразующие минералы кислых магматических пород — гранитов, сиенитов, гранодиоритов и др. Известно, что граниты обладают природной радиоактивностью несколько выше фоновой из-за содержащегося в них урана. Хотя кларк урана не превышает 3 г/т, но в гранитах его содержание составляет уже 25 г/т. Но если гораздо более распространённый химический аналог радия барий входит в состав довольно редких калий-бариевых полевых шпатов (гиалофанов), а «чистый» бариевый полевой шпат, минерал цельзиан $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ очень редок, то накопления радия с образованием радиевых полевых шпатов и минералов вообще не происходит из-за короткого периода полураспада радия. Радий распадается на радон, уносящийся по порам и микротрещинкам и вымываемый с грунтовыми водами. В природе иногда встречаются молодые радиевые минералы, не содержащие уран, например радиобарит и радиокальцит, при кристаллизации которых из растворов, обогащённых радием (в непосредственной близости от легко растворимых вторичных урановых минералов), радий сокристаллизуется с барием и кальцием благодаря изоморфизму.

Получение. Получить чистый радий в начале XX в. стоило огромного труда. Мария Кюри трудилась 12 лет, чтобы получить крупинку чистого радия. Чтобы получить всего 1 г чистого радия, нужно было несколько вагонов урановой руды, 100 вагонов угля, 100 цистерн воды и 5 вагонов разных химических веществ. Поэтому на начало XX в. в мире не было более дорогого металла. За 1 г радия нужно было заплатить больше 200 кг золота.

Физические и химические свойства. Радий при нормальных условиях представляет собой блестящий белый металл, на воздухе темнеет (вероятно, вследствие образования нитрида радия). Реагирует с водой. Ведёт себя подобно барию и стронцию, но более хи-

мически активен. Обычная степень окисления — +2. Гидроксид радия $\text{Ra}(\text{OH})_2$ — сильное, коррозионное основание.

Применение. В настоящее время радий иногда используют в компактных источниках нейтронов, для этого небольшие его количества сплавляются с $^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + ^1_0\text{n}$.

В медицине радий используют как источник радона для приготовления радоновых ванн (хотя в настоящее время их полезность оспаривается). Кроме того, радий применяют для кратковременного облучения при лечении злокачественных заболеваний кожи, слизистой оболочки носа, мочевого тракта. Однако в настоящее время существует множество более подходящих для этих целей радионуклидов с нужными свойствами, которые получают на ускорителях или в ядерных реакторах, например, ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,3$ года), ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,2$ года), ^{182}Ta ($T_{1/2} = 115$ сут.), ^{192}Ir ($T_{1/2} = 74$ сут.), ^{198}Au ($T_{1/2} = 2,7$ сут.) и т. д. До 70-х годов XX века радий часто использовался для изготовления светящихся красок постоянного свечения (для разметки циферблатов авиационных и морских приборов, специальных часов и других приборов), однако сейчас его обычно заменяют менее опасными изотопами: тритием ($T_{1/2} = 12,3$ года) или ^{147}Pm ($T_{1/2} = 2,6$ года). Опасность таких приборов состоит в том что они не содержали предупреждающей маркировки, выявить их можно только дозиметрами.

Биологическая роль. Радий чрезвычайно радиотоксичен. В организме он ведёт себя подобно кальцию — около 80 % поступившего в организм радия накапливается в костной ткани. Большие концентрации радия вызывают остеопороз, самопроизвольные переломы костей и злокачественные опухоли костей и кроветворной ткани. Опасность представляет также радон — газообразный радиоактивный продукт распада радия. Преждевременная смерть Марии Кюри произошла вследствие хронического отравления радием, так как в то время опасность облучения ещё не была осознана.

Изотопы. Известны 25 изотопов радия. Изотопы ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra встречаются в природе, являясь членами радиоактивных рядов. Остальные изотопы могут быть получены искусственным путём. Радиоактивные свойства некоторых изотопов радия:

Массовое число	Период полураспада	Тип распада
213	2,74(6) мин.	α
219	10(3) мс	α
220	17,9(14) мс	α (99%)
221	28(2) с	α
222	38,0(5) с	α
223 (AcX)	11,43(5) дня	α
224 (ThX)	3,6319(23) дня	α
225	14,9(2) дня	β
226	1602(7) лет	α
227	42,2(5) мин.	β
228 (MsTh ₁)	5,75(3) года	β
230	93(2) мин.	β

Уран-238 (англ. *uranium-238*), историческое название **уранодин** (лат. *Uranium I*, обозначается символом **U_I**) — радиоактивный нуклид химического элемента урана с атомным номером 92 и массовым числом 238. Изотопная распространённость урана-238 в природе составляет 99,2745(106) %^[2]. Является родоначальником радиоактивного семейства 4n+2, называемого *рядом радия*.

Активность одного грамма этого нуклида составляет приблизительно 12,5 кБк.

U-238.

Хотя уран-238 не может быть использован как первичный делящийся материал, из-за высокой энергии нейтронов, необходимых для его деления, он занимает важное место в ядерной отрасли. Имея высокую плотность и атомный вес, U-238 пригоден для изготовления из него оболочек заряда/рефлектора в устройствах синтеза и деления. Тот факт, что он делится быстрыми нейтронами, увеличивает энерговыход заряда: косвенно, размножением отраженных нейтронов; непосредственно при делении ядер оболочки быстрыми нейтронами (при синтезе). Примерно 40% нейтронов, образованных при делении и все нейтроны синтеза обладают достаточными для деления U-238 энергиями.

U-238 имеет интенсивность спонтанного деления в 35 раз более высокую, чем U-235, 5.51 делений/с*кг. Это делает невозможным применение его в качестве оболочки заряда/рефлектора в пушечных бомбах, ибо подходящая его масса (200-300 кг) создаст слишком высокий нейтронный фон. Чистый U-238 имеет удельную радиоактивность 0.333 микрокюри/г. Важная область применения этого изотопа урана - производство плутония-239. Плутоний образуется в ходе нескольких реакций, начинающихся после захвата атомом U-238 нейтрона. Любое реакторное топливо, содержащее природный или частично обогащенный по 235-му изотопу уран, после окончания топливного цикла содержит в себе определенную долю плутония.

В уже существующих реакторах на быстрых нейтронах освобождается энергия ядер распространенного изотопа – урана-238, и если энергия – подлинное богатство, то урановые ядра уже в недалеком будущем облагодетельствуют человечество: энергия элемента №92 станет основой нашего существования.

Жизненно важно сделать так, чтобы уран и его производные сгорали только в атомных реакторах мирных энергетических установок, сгорали медленно, без дыма и пламени.

Торий -230

Торий-230, историческое название ионий (Ionium, обозначается символом Io) – радиоактивный нуклид химического элемента тория с атомным номером 90 и массовым числом 230. Открыт в 1907 американским радиохимиком Бертрамом Болтвудом. Принадлежит к радиоактивному семейству урана -238 (так называемый ряд радия).

Торий-230 непосредственно образуется в результате следующих распадов:

β^- – распад нуклида ^{230}Ac (период полураспада составляет 122 с)

β^+ – распад нуклида протактиния ^{230}Pa (период полураспада составляет 17,4 суток)

α – распад нуклида урана ^{234}U (период полураспада составляет $2,455 \times 10^5$ лет)

Сам ^{230}Th также α -радиоактивен, в результате распада образуется нуклид ^{226}Ra (выделяемая энергия 4770 кэВ), энергия испускаемых α -частиц 4687,0 кэВ (в 76,3% случаев) и 4620,5 кэВ (в 23,4% случаев).

Для этого нуклида существует также чрезвычайно низкая вероятность кластерного распада (с испусканием ядра ^{24}Ne и образованием ядра ртути-206; вероятность события $5,6 \times 10^{-11}$ (10)%). Спонтанное деление нуклида разрешено законами сохранения, но экспериментально не обнаружено (вероятность менее 5×10^{-11} %).

^{230}Th – изотоп тория в ряду распада урана может быть выделен из урановых руд носителем церием в виде оксалата. Оксалат церия смешивают с раствором, содержащим карбонат и гидрокарбонат натрия, при этом большая часть иония переходит в раствор, а церий остаётся в осадке. Ионий вместе с ^{231}Pa извлекают из урановой руды после отделения радиевой фракции и извлечения основной массы урана экстракцией азотнокислых растворов ТБФ, который не извлекает протактиний торий. Протактиний и торий экстрагируется алкилфосфорными кислотами. После промывания экстракта его переводят в раствор карбоната аммония, очищают раствор осаждением сульфидов, разрушают карбонат подкислением и выделяют из раствора гидроксида иония и протактиния. Фтористоводо-

родной кислотой делят протактиний и ионий. Последний переходит в осадок в виде фторида, а протактиний остаётся в растворе.

3. Зоны повышенного содержания естественных радионуклидов.

На земном шаре имеются районы, где мощность поглощенной дозы в воздухе вне помещений значительно превышает среднее значение (около 5 мкР/ч), характерное для районов с "нормальным" радиационным фоном. Это - провинции Лацио и Кампанья в Италии, районы в штатах Керала и Тамилнад в Индии, в штатах Эспириту-Санту, Минас-Жерайс и Рио-де-Жанейро в Бразилии, ряд районов во Франции, Иране, Нигерии, на Мадагаскаре и в некоторых других странах мира. Так, отмечены места в штате Минас-Жерайс, где мощность поглощенной дозы в воздухе достигает 28 мкГр/ч (примерно соответствует 2800 мкР/ч). Во Франции в ряде районов типичное значение мощности поглощенной дозы в воздухе достигает 2 мкГр/ч (200 мкР/ч); в этой стране обнаружен также небольшой район, где мощность поглощенной дозы составляет 100 мкГр/ч (10 тыс. мкР/ч). В урановой провинции Атабаска (Канада) по высоким концентрациям урана в хвое черной канадской ели обнаружена Уолластоунская биохимическая аномалия размером 3 000 км², связанная с поступлением в приземной слой атмосферы урансодержащих газовых эманации по глубинным разломам. Естественно повышенный радиационный фон наблюдается в районах Крайнего Севера из-за поступления в эти районы частиц солнечного ветра.

Контрольные вопросы:

1. Дайте характеристику искусственному радионуклиду стронцию-90.
2. Дайте характеристику искусственному радионуклиду цезию-137.
3. Дайте характеристику искусственному радионуклиду плутонию.
4. Дайте характеристику естественному радионуклиду калию-40.
5. Дайте характеристику естественному радионуклиду радия-226.
6. Дайте характеристику естественному радионуклиду урану-238.
7. Дайте характеристику естественному радионуклиду тория -230.
8. Расскажите про зоны с повышенным содержанием естественных радионуклидов.

Литература:

1. Бадрутдинов О.Р., Тюменев Р.С. Радиационно-экологический мониторинг окружающей среды. Казань: Издательство КГУ, 2009.
2. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: Бином, 2006.
3. Сахаров В.К. Радиоэкология. СПб.: Издательство «Лань», 2006.
4. Тюменев Р.С., Бадрутдинов О.Р. Радиоэкологические исследования окружающей среды. Методические указания для практических занятий студентов. Казань, 1998.
5. Ярошинская А.А. Ядерная энциклопедия. :Благотворительный фонд Ярошинской, 1996.

ЛЕКЦИЯ 9. «СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ РАДИАЦИИ И РАДИАЦИОННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ».

1. Средства защиты от радиации и радиационных загрязнений.
2. Закрытые источники ионизирующего излучения. Защита от них.
3. Открытые источники ионизирующего излучения. Защита от них.

4. *Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и продукты питания.*
5. *Принципы и методы радиоэкологического нормирования.*
6. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).*

1. Средства защиты от радиации и радиационных загрязнений.

Радиационная защита — комплекс мероприятий, направленный на защиту живых организмов от ионизирующего излучения, а также, изыскание способов ослабления поражающего действия ионизирующих излучений.

Средства индивидуальной защиты от радиации подразделяются на:

1) Средства защиты органов дыхания. К ним относятся противогазы, респираторы, ватно-марлевые повязки и противопыльные тканевые маски. Эти средства обеспечивают защиту органов дыхания от вредных примесей и радиоактивных веществ (пыли), содержащихся в воздухе.

2) Средства защиты кожи. Крайне необходима защита кожного покрова. Средства защиты кожи делятся по принципу действия на изолирующие и фильтрующие. Они обеспечивают полную защиту кожи от воздействия альфа-частиц и ослабляют световое излучение ядерного взрыва. Это могут быть как простые резиновые комбинезоны, так и спеckостюмы из особого защитного материала.

Пищевые добавки и препараты против радиации (применяются до начала излучения).

Очень часто совместно со спеckодеждой и экранами для обеспечения защиты от радиации используются пищевые добавки. Они принимаются внутрь до или после попадания в зону с повышенным уровнем радиации и во многих случаях позволяют снизить токсическое воздействие радионуклидов на организм. Кроме того, снизить вредное воздействие ионизирующего излучения позволяют некоторые продукты питания.

Среди биологически активных добавок выделяют ***Элеутерококк*** ("сибирский женьшень"), он снижает влияние радиации на организм.

В СССР был разработан препарат, защищающий людей и животных от радиации. Он назван **АСД (антисептик-стимулятор Дорогова)**. В 1943 г. нескольким лабораториям различных институтов СССР было дано секретное правительственное задание. Надо было разработать **препарат, защищающий людей и животных от радиации**. Он должен был не только значительно повышать иммунитет организма, но и быть дешевым, недефицитным. Успех выпал лишь на долю лаборатории Всесоюзного института экспериментальной ветеринарии (ВИЭВ), возглавляемой кандидатом наук Дороговым А.В. Препарат был создан в 1947 г. Удачу принесли нетрадиционный подход к решению проблемы и экспериментаторский талант Алексея Дорогова. Дорогов использовал в качестве сырья лягушек, а в качестве способа переработки — термическую возгонку тканей с конденсацией жидкости. Полученная жидкость обладала антисептическими, стимулирующими, ранозаживляющими свойствами и была названа АСД (антисептик-стимулятор Дорогова).

Почему АСД до сих пор не получил официального признания? Это одна из загадок препарата. АСД был открыт более 60 лет назад. Он мог спасти жизнь и здоровье многим,

однако до сих пор официально используется лишь в дерматологии и ветеринарии (в обычных аптеках АСД, как правило, не продается, купить его можно в ветеринарных аптеках или в ветеринарных отделах обычных аптек).

Ошеломляющая эффективность препарата не на шутку встревожила партноменклатуру и чиновников от науки. Революции в медицине и фармацевтике (а также здоровья и долголетия своего народа) они не хотели. Засекреченность препарата (гриф «секретно» был снят с АСД лишь в 1962 г.), ранняя смерть его создателя и прекращение исследований привели к незаслуженному забвению препарата АСД. В последнее время, благодаря усилиям отдельных энтузиастов и «ЗОЖ», АСД опять начинает успешно применяться в лечении людей.

Что представляет собой АСД? Препарат АСД является продуктом термического разложения (при высокотемпературной сухой возгонке) сырья животного происхождения (мясокостной муки, мясных и костных отходов). При возгонке органические вещества — белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты — постепенно расщепляются до низкомолекулярных компонентов.

Препарат CBLB502 против радиации. Американские и еврейские ученые создали лекарственный препарат CBLB502, который запускает биологический механизм в организме человека, благодаря чему помогает ему справиться с воздействием радиации. Спасает от радиации всего один укол. Препарат CBLB502 прошел испытания на животных. И тестирование показало, что новое лекарство защищает от радиации здоровые клетки в костном мозге и пищеварительном тракте. В ходе испытаний мыши и обезьяны, которым вводили лекарство до того, как подвергнуть их смертельной дозе радиации, имели больший шанс выжить или жили дольше, чем животные, которым лекарства не давали. У нового лекарства не было выявлено никаких побочных эффектов.

В ближайшие годы препарат CBLB502 должен пройти испытания в клинических условиях. По словам создателей, CBLB502 можно будет использовать для защиты от радиации при ядерных катастрофах, подобных Чернобыльской, и в случае использования экстремистами грязных бомб. Препарат разработан профессором Андреем Гудковым, главным научным сотрудником BioLabs в Кливленде. *"Мы показали, что новый препарат оказывается эффективным при введении его как до воздействия радиации, так и после него"*, — говорит учёный. *"Кратко воздействие лекарства можно охарактеризовать следующим образом: CBLB502 снижает токсичность радиации, не уменьшая терапевтического антиракового воздействия облучения и не вызывая индуцированной ионизирующим излучением канцерогенности"*, — добавил ученый.

Продукты питания, снижающие действие радиации. Даже орехи, белый хлеб, пшеница, редиска способны в небольшой степени снижать последствия радиационного воздействия на человека. Дело в том, что в них содержится селен, препятствующий образованию опухолей, которые могут быть вызваны радиационным облучением. **Очень хороши в борьбе с радиацией и биодобавки** на основе водорослей (ламинарии, хлорелле). Частично избавить организм от проникших в него радиоактивных нуклидов позволяет даже лук и чеснок.

Фармацевтические растительные препараты против радиации. Против радиации эффективное действие оказывает препарат «Корень женьшеня», который можно купить в любой аптеке. Его применяют в два приема перед едой в количестве 40–50 капель за один раз. Также для снижения концентрации радионуклидов в организме рекомендуется употреблять экстракт элеутерококка в объеме от четверти до половины чайной ложки

в день вместе с выпиваемым утром и в обеденное время чаем. *Левзея, заманиха, медуница* также относятся к категории радиопротекционных препаратов, и приобрести их можно в аптечных пунктах.

Защититься от радиации помогают **препараты, содержащие йод**. Йод препятствует накоплению в организме цезия и стронция. Йод в организме человека поглощается клетками щитовидной железы. Попадая в организм, нерадиоактивный йод блокирует проникновение в организм радиоактивного йода. Но употребления йода в больших количествах опасно для здоровья. Йод пили при аварии в Чернобыле, тогда это было очень актуально. Причем пить его надо было сразу же после аварии, а люди там начали употреблять его спустя две-три недели, что уже практически не имело смысла при таком сильном заражении. Но если здоровый человек будет принимать йод-содержащие средства в умеренном количестве в течение 3-4 недель, то вреда не будет, и при заражениях местности эта мера защитит от радиации.

Для оценки уровня снижения радиоактивного излучения применяется правило 7/10, которое означает, что уровень радиации будет уменьшаться в 10 раз через семикратное увеличение времени. Т.е. снижение в 10 раз будет через 7 часов, затем через 49, затем через 2 недели, затем через 3-3,5 месяца, затем через 2,5 года.

Обеспечение радиационной безопасности требует комплексных мер многообразных защитных мероприятий, зависящих от конкретных условий радиационной ситуации и в первую очередь от типа источника излучения и способа облучения.

2. Закрытые источники ионизирующего излучения. Защита от них.

Источники ионизирующих излучений могут быть закрытого и открытого типа.

Закрытыми источниками называются любые источники ионизирующего излучения, устройство которых исключает попадание радиоактивных веществ в окружающую среду.

Закрытые источники по характеру действия могут быть разделены на две группы:

- источники излучения непрерывного действия;
- источники излучения, генерирующие излучение периодически.

К первой группе относятся гамма-установки различного назначения, нейтронные, бета- и гамма-излучатели.

Ко второй рентгеновские аппараты и ускорители заряженных частиц.

В качестве γ -излучателей находят применение в основном искусственные радиоактивные элементы, помещаемые в порошкообразном или твердом состоянии в герметичные стальные ампулы. Наиболее часто используются как γ -излучатели такие радиоактивные элементы как кобальт-60, селен-75, кадмий-109, теллур-127, цезий-137, европий-154, тулий-170, тантал-182, иридий-192.

В качестве β -источников применяются искусственные радиоактивные изотопы β -излучатели -фосфор-32, стронций-90, иттрий-90, рутений-106, церий-144, празеодим-144, прометий-147, золото-198, таллий-204.

Нейтронные источники обычно готовятся путем смешения радия, полония или плутония с бериллием или бором (смесь помещается в герметические стальные ампулы). Активность закрытых источников ионизирующей радиации, которые применяются для раз-

личных целей, варьирует в широких пределах. В зависимости от назначения и условий применений общий заряд излучателя может достигать 5,5 ПБк (150000 Ки) и более.

Защитные мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при применении закрытых источников, основаны на знании законов пространства ионизирующих излучений и характера взаимодействия их с веществом.

Главные из них следующие:

- доза внешнего облучения пропорциональна интенсивности излучения и времени воздействия;
- интенсивность излучения от точечного источника пропорциональна количеству квантов или частиц, и обратно пропорциональна квадрату расстояния;
- интенсивность излучения может быть уменьшена с помощью экранов.

На этих закономерностях базируются основные принципы обеспечения радиационной безопасности от внешнего облучения при использовании закрытых источников:

- «**Защита количеством**» - уменьшение мощности источников до минимальных величин;
- «**Защита временем**» - сокращение времени работы с источниками;
- «**Защита расстоянием**» - увеличение расстояния от источников до работающих;
- «**Защита экраном**» - экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующие излучения.

Каждый из этих способов может быть использован в отдельности или в комбинации с другими. Это зависит от вида источника от физического состояния радионуклидов (твердые, порошкообразные, жидкие, газообразные), вида и энергии излучения, активности, периода полураспада, относительной радиотоксичности вещества, его количества и характера технологического процесса использования.

Опасность внешнего облучения представляют гамма-излучатели, меньше бета-излучатели. При внутреннем облучении очень опасны бета-излучатели. Для защиты от внешнего облучения приемлемы все названные четыре способа защиты.

Защита количеством.

Подразумевает проведение работ с минимальной активностью радиоактивных веществ, основывается на уменьшении мощности излучения в прямой, пропорции. Этот способ защиты не имеет широкого применения, так как он ограничен требованиями того или иного процесса технологии. Кроме того, уменьшение активности источника увеличивает сроки облучения различных объектов, подвергаемых воздействию ионизирующего излучения.

Защита временем.

Основывается на уменьшении срока работы с источником: сокращение времени работы с источником излучения, сокращение рабочего дня, рабочей недели. Сокращая сроки работы с источниками, можно в значительной степени уменьшить дозы облучения персонала. Этот принцип защиты особенно часто применяется при работе с источниками относительно малой активности, при прямых манипуляциях с ними персонала. Велика значимость временного фактора и при использовании рентгеновских

аппаратов в медицинской практике, особенно при диагностических процедурах. Повышение квалификации врачебных кадров позволяет сократить время работы рентгенов-

ской трубки и, следовательно, уменьшить дозовые нагрузки персонала и обследуемых больных.

Защита расстоянием.

Это простой и надежный способ защиты. Она обеспечивается достаточным удалением работающих от излучателя или использованием устройств для дистанционной работы. Для защиты могут использоваться различные приспособления – инструменты шарнирные щипцы, универсальные манипуляторы, повторяющие движения рук и пальцев. Эффективность этот принцип защиты, можно видеть на следующем примере.

При работе с точечным источником из ^{60}Co активность 110 МБк в течение одной минуты и при использовании при этом пинцетов длиной 8 см пальцы кисти работающего могут получить дозу около 100 мкГр, а при тех же манипуляциях, но при применении пинцетов длиной 25 см доза облучения составит всего 10 мкГр.

Следует отметить, что хотя принципы защиты временем и расстоянием нашли большее практическое применение, чем принцип защиты количеством, однако широкое их осуществление ограничено требованиями технологии применения источников. Так, в одних случаях требуется облучение тех или иных объектов в течение длительного времени (несколько часов и более), в других случаях сокращение времени работы с источниками уменьшает экономический эффект от их эксплуатации (например, сокращение сроков работы рентгеновской трубки при дефектоскопии стальных слитков уменьшит производительность труда дефектоскопистов), а при работе с мощными источниками

ионизирующих излучений возникает необходимость удаления персонала от излучателей на такие расстояния, что принцип защиты расстоянием как единственный самостоятельный способ защиты теряет всякий смысл.

В этих случаях при создании условий, обеспечивающих радиационную безопасность работ с закрытыми источниками, большую роль играет принцип «защиты экранами», используемый в комбинации с принципом защиты расстоянием.

Защита экраном (или поглощением).

В зависимости от вида ионизирующих излучений для изготовления экранов применяются различные материалы, а их толщина определяется мощностью излучений. Так, лучшими для защиты от рентгеновского и γ -излучений, позволяющими добиться нужного эффекта по кратности ослабления при наименьшей толщине экрана, являются материалы с большим атомным весом (Z), например

Свинец и уран. Однако, учитывая высокую стоимость свинца и урана, могут применяться экраны из более легких материалов -просвинцованного стекла, железа, бетона, баритобетона, железобетона и даже воды. В этом случае, естественно, эквивалентная толщина экранов намного превосходит ту, которая могла бы обеспечить нужную кратность ослабления с помощью свинца или урана.

Кирпич, бетон, баритобетон, железобетон и другие строительные материалы часто используя в качестве исходного сырья для изготовления экранов тех случаях, когда экраны одновременно являются строительными конструкциями сооружений.

Защита от нейтронного излучения экранами основывается на закономерности взаимодействия нейтронов веществом. Наиболее эффективно происходит поглощение тепловых, медленных и резонансовых нейтронов, поэтому для поглощения быстрых нейтронов они должны быть предварительно замедлены. Максимальным замедляющим эффектом обладают элементы с малым атомным номером. Поэтому для защитных экранов обычно

применяют воду, парафин, бетон и другие материалы, содержащие в своем составе большое количество атомов водорода.

Тепловые нейтроны очень хорошо поглощаются кадмием и бором, причем для полного поглощения их толщина слоя кадмия, например, может равняться нескольким десяткам миллиметра. Учитывая, что процесс поглощения нейтронов сопровождается излучением γ -квантов, необходимо предусматривать дополнительную защиту из свинца или других эквивалентных материалов. В реакторах, например, где имеет место мощное излучение нейтронов, могут применяться несколько поглощающих слоев: первый слой -для замедления нейтронов из материалов, содержащих большое количество атомов водорода (бетон, вода и т. д.), второй слой -для поглощения медленных и тепловых нейтронов (бор, кадмий) и третий слой -для поглощения гамма-излучения.

Для защиты от β -потоков целесообразно применять экраны, изготовленные из материалов с малым атомным номером. В этом случае выход тормозного излучения невелик. Обычно в качестве экранов для поглощения β -излучения используются органическое стекло, пластмасса, алюминий. В случае особо мощных β -потоков следует использовать дополнительные экраны для защиты от тормозного излучения.

Для защиты от альфа-излучений может служить небольшой слой воздуха между человеком, работником и источником.

По своему назначению защитные экраны могут быть условно разделены на следующие группы:

1. Защитные экраны -контейнеры, в которые помещаются радиоактивные препараты. Главное их назначение хранение радиоактивных препаратов в нерабочем положении.

2. Защитные экраны для оборудования. В этом случае экранами полностью окружают все рабочее оборудование при положении радиоактивного препарата в рабочем состоянии или при включении высокого (или ускоряющего) напряжения на источники ионизирующих излучений.

3. Передвижные защитные экраны. Этот тип защитных экранов применяется для защиты рабочего места на различных участках рабочей зоны.

4. Защитные экраны, монтируемые как части строительных конструкций (стены, перекрытия полов и потолков, специальные двери и т. д.). Такой вид защитных экранов предназначается для защиты помещений, в которых постоянно находится персонал, и прилегающей территории.

5. Экраны индивидуальных средств защиты (щиток из оргстекла, смотровые стекла пневмокостюмов, просвинцованные перчатки и др.).

3. Открытые источники ионизирующего излучения. Защита от них.

Открытыми источниками называются такие источники ионизирующих излучений, при использовании которых возможно попадание радиоактивных веществ в окружающую среду. При этом может быть не только внешнее, но и дополнительное внутреннее облучение персонала. Это может произойти при поступлении радиоактивных, изотопов в окружающую рабочую среду в виде газов, аэрозолей, также в виде твердых и жидких радиоактивных отходов.

Объекты, которые представляют потенциальную опасность загрязнения радиоактивными веществами рабочей среды, можно условно разделить на две группы.

К первой относятся лаборатории, учреждения и предприятия, где использование радиоактивных веществ в открытом виде предусмотрено самой технологией производ-

ства. Например, в медицинских учреждениях открытые источники применяются для лечения и диагностики ряда заболеваний. В лабораториях сельскохозяйственного профиля - для изучения процессов усвоения растениями вносимых в почву удобрений, оценки роли микроэлементов в питании растений и решения других научно-исследовательских задач. В лабораториях промышленного профиля - для изучения износа деталей различных устройств в машиностроении, для оценки процесса шлакообразования и динамики плавки металлического лома в мартеновских печах и т. д.

Ко второй группе относятся такие объекты, на которых радиоактивные вещества в открытом виде образуются как неизбежные, а в отдельных случаях и как побочные нежелательные продукты технологического процесса. Это - рудники по добыче радиоактивных руд и заводы по их переработке, атомные электростанции и экспериментальные реакторы, мощные ускорители заряженных частиц и др.

Очевидно, что потенциальная опасность внутреннего переоблучения персонала на указанных объектах не равнозначна. Она зависит, прежде всего, от общей активности радиоактивных веществ на рабочих местах, степени их радиотоксичности, характера производственных операций. Так, чем большее количество радиоактивных веществ применяется при работе, тем (при прочих равных условиях) больше вероятность загрязнения воздуха, рабочих поверхностей и тела работающих; потенциальная опасность внутреннего переоблучения при работе с радиоактивным изотопом.

Главным принципом защиты при работе с открытыми источниками ионизирующего излучения остаются неизменными. К ним относятся все способы защиты, применяемые при работе с источниками излучения в закрытом виде. А также:

- герметизация производственного оборудования с целью изоляции процессов, которые могут явиться источниками поступления радиоактивных веществ во внешнюю среду. Для этих целей используют герметичные камеры, боксы, вытяжные шкафы различных типов и конструкций, механические манипуляторы;

- мероприятия планировочного характера – планировка помещений, максимально обеспечивающая изоляцию работ с радиоактивными веществами от других помещений;

- применение санитарно-технических устройств и оборудования, специальных защитных материалов –

- предполагает устройство специальных систем вентиляции для защиты воздушной среды рабочих помещений от радиоактивных загрязнений, специальной системы водопроводов, канализации;

- использование средств индивидуальной защиты –предполагает средства защиты органов дыхания и кожных покровов. **В этих целях используются:** халаты, комбинезоны, костюмы, спецобувь, противопылевые респираторы, противогазы, пневмокостюмы, щитки из оргстекла, просвинцованные фартуки, перчатки, шапочки. Детали одежды должны обладать химической стойкостью, она должна иметь минимальное количество швов, клапанов, карманов;

- выполнение правил личной гигиены или соблюдение правил радиационной асептики. Эти правила существуют для исключения попадания радиоактивных веществ на спецодежду, кожные покровы, в желудочно-кишечный тракт. Сущность правил заключается в приемах одевания и снятия перчаток с целью исключения прикосновения незащищенных пальцев рук с потенциально загрязненной наружной поверхности перчаток. Запрещается курение в рабочей зоне, хранение пищевых продуктов, косметики, домашней одежды и т. д.;

- очистка от радиоактивных загрязнений поверхностей оборудования и средств индивидуальной защиты. При загрязнении радиоактивными веществами оборудования, производственных помещений и средств индивидуальной защиты производится их очистка от радиоактивного материала. Следует указать, что благодаря применению специальных покрытий большая часть загрязнений имеет слабую связь с поверхностями. Некоторое же количество радиоактивных веществ фиксируется прочно. Поэтому с целью удаления загрязнения применяется не обычная вода, а специально подбираемые растворы, часто сложного состава, которые эффективно разрушают связь радиоактивных веществ, возникшую за счет адсорбции и ионного обмена с поверхностью. К веществам, применяемым для удаления радиоактивных изотопов с поверхностей, относятся поверхностно – активные и комплексообразующие соединения (полифосфаты, аминополикарбонатовые, лимонная и щавелевая кислоты и их соли). Для удаления радиоактивных загрязнений, имеющих химическую связь с материалом поверхности, могут применяться минеральные кислоты (HCl , H_2SO_4 , HNO_3) и окислители (KMnO_4 , H_2O_2 и др.). Результаты обработки загрязненных поверхностей указанными средствами считаются удовлетворительными, когда уровень загрязнения не превышает допустимых величин.

Защитные мероприятия при авариях на АЭС.

Как правило, защитные мероприятия при авариях на АЭС, приводящих к выбросам радионуклидов в атмосферу, зависят в основном от масштаба аварии. Однако существуют общие стандартные принципы защиты населения, которые необходимо знать каждому человеку.

Принятие решений о проведении профилактических и защитных мероприятий на начальном этапе аварии основывается преимущественно на информации, поступающей с АЭС, а не на основе сведений существующего мониторинга окружающей среды. *В целях защиты от внешнего и ингаляционного облучения необходимо обеспечить пребывание людей в убежищах, домах при закрытых окнах. Целесообразно законопатить щели дверей и окон влажной бумагой или тканью. Следует знать, что стены домов снижают дозы внешнего облучения в 10 раз и более.* Например, в г. Припять в квартирах, где были заперты окна, и форточки в период выброса радиоактивных веществ вещи не были

загрязнены радиоактивными выпадениями. *Также рекомендуется использовать импровизированные средства защиты органов дыхания, при отсутствии специальных, такие как носовые платки, полотенца, хлопковые ткани, предметы одежды, с помощью которых можно защитить рот и ноздри. Защитная эффективность может быть повышена их смачиванием.*

Защита тела сводится к защите кожи и волосяного покрова, что можно обеспечить любыми предметами одежды – головные уборы, куртки, плащи, перчатки, сапоги и т. д.

Например, у некоторых больных с ЧАЭС, поступивших в стационар были обширные лучевые ожоги кожных покровов за исключением защищенных мест. Также следует избегать передвижений по траве. Один сельский житель, который после аварии ехал на велосипеде по полю получил тяжелые лучевые ожоги обеих стоп.

На начальном периоде аварии необходимо проведение экстренной профилактики поражений радиоактивным йодом. Экстренная йодная профилактика должна осуществляться как можно раньше при установлении дозиметрическими службами его наличия в радиоактивном выбросе.

Для профилактики радиационного воздействия радиоизотопов йода на организм и щитовидную железу применяют препараты стабильного йода, которые препятствуют накоплению радиоизотопов йода и способствуют их выведению. Для этого используют

препараты калия йодида в таблетках, а при его отсутствии можно заменить водно-спиртовым раствором йода.

Калия йодид применяют в таблетках в следующих дозах: детям от 2 лет и старше и взрослым по 0,125 г, до 2 лет - по 0,04 г на прием внутрь после еды вместе с киселем, чаем, водой 1 раз в день в течение 7 сут. При этом достигается исключительно высокая степень защиты.

Раствор йода водно-спиртовой (5 % йодная настойка) применяется детям от 2 лет и старше и взрослым по 3-5 капель на стакан молока или воды после еды 3 раза в день в течение 7 сут. Детям до 2 лет 5% йодную настойку дают в дозе по 1-2 капли на 100 мл молока или питательной смеси 3 раза в день в течение 7 сут.

Для беременных женщин рекомендуется принимать калия йодид одновременно с перхлоратом калия однократно в сутки по 0,125 г калия йода и 0,75 г калия перхлората, который ослабляет токсическое влияние калия йодида на плод. Препараты принимают внутрь после еды, запивая сладким чаем, киселем, молоком (заведомо чистым). Таблетки принимают до устранения прямой угрозы поступления в организм радиоактивных изотопов йода.

Прием стабильного йода следует начинать при концентрации радиоактивного йода в молоке для детей 3,7 Бк/л, для взрослых 370 Бк/л. Прием алкоголя в любом виде категорически запрещен.

4. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и продукты питания.

Агрохимические приемы. Включают известкование почвы, что приводит к нейтрализации кислотности почвы за счет вытеснения ионов H^+ и насыщению его кальцием. Эта процедура позволяет снизить поступление в растения изотопов Sr и Cs- в 1,5 – 3 раза. Внесение минеральных удобрений обеспечивает снижение поступления радиоактивных изотопов в сельскохозяйственные культуры в 3 – 5 раз.

При разовом известковании и внесении калийных и фосфорных удобрений в больших

количествах (200 – 300 кг/га) защитный эффект наблюдается в течение 3 – 5) лет. Применение органических удобрений (навоза, торфа с pH 5,5, ила прудового) способствует снижению доступности радионуклидов для растений в 1,5 – 2,5 раза.

Агротехнические приемы. Радикальным способом решения задачи является удаление поверхностного слоя почвы, загрязненного радионуклидами. Для 10 – кратного снижения загрязнения необходимо снять слой почвы толщиной 4 – 5 см. Теоретически возможно, практически трудноосуществимо из-за рельефа местности, состава почвы (тяжелые почвы), возникают проблемы захоронения снятой почвы. Этот прием можно использовать при загрязнении небольших участков поверхности почвы. Наиболее эффективен, из технических приемов, является перепашка почвы на глубину 40 – 70 см и захоронение поверхностного слоя на эту глубину, это позволяет снизить поступление радионуклидов в растения в 5 – 7 раз. Снизить поступление радионуклидов в травостой можно за счет коренного улучшения лугов путем фрезерования или вспашки загрязненной дернины в сочетании с известкованием, внесением удобрений с посевом травосмеси. Такая обработка снижает поступление цезия-137 в 3-10 раз, а стронция-90 в 2 - 5 раз.

Наиболее простым и дешевым является такой агротехнический прием как подбор культур и сортов, отличающихся способностью накапливать в урожае минимальное количество стронция-90 и цезия-137. Так, озимые и позднеспелые растения, при прочих равных условиях, накапливают в 1,5 -2 раза меньше радионуклидов, чем яровые и скороспелые, соответственно. Не рекомендуется высевать бобовые, поскольку они накапливают максимальное количество радионуклидов.

Зоотехнические мероприятия. Для снижения содержания радионуклидов в продукции животноводства данные мероприятия состоят из следующих приемов:

- перевод скота на стойловое содержание и организация зеленого конвейера в летне-пастбищный период в случае загрязнения выпасных лугов;
- целенаправленное кормопроизводство;
- подборка соответствующих кормов;
- полноценное фосфорно-кальциевое питание;
- минеральные добавки.

Перечисленные приемы понижают поступление радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных в 2 - 5 раз.

Снижение содержания радионуклидов в продукции при ее переработке.

Переработка продукции дает возможность существенно снизить содержание радиоактивных веществ в конечном продукте. Снижение содержания радионуклидов в продукцию можно добиться различными способами переработки.

Промывка проточной водой зерна снижает содержания радиоактивных веществ в 1,5 –3 раза. Переработка зерна в крахмал в 50 раз. Переработка зерна в спирт в 100 раз. Очистка картофеля в 2 раза, переработка его в крахмал в 50 раз. Срезание поверхностных листьев капусты в 40 раз. Срезание головки корнеплодов в 20 раз. Переработка свеклы в сахар в 50 раз. Отмывка помидоров, огурцов в 3 раза. Засолка отмытых огурцов в 2 –2,5 раза.

Переработка молока в молочные продукты способствует значительному переходу радионуклидов в обрат, пахту, сыворотку. В масле остается очень низкое содержание радионуклидов, особенно в топленом масле. При перетопке сливочного масла лецитино-белковые оболочки жировых шариков, с которыми связаны стронций-90 и цезий-137, отделяются.

При изготовлении творога, с использованием молочной закваски, в сыворотку переходит стронция-90-

9,7%; цезия-137 - 87,6%; йода-131 -73,0%.

Варка мяса обеспечивает переход радионуклидов в бульон от 50 до 90%. Предварительное вымачивание мелко нарезанного мяса в воде или 0,85%-ном растворе натрия хлористого обеспечивает удаление из мяса 30 - 60% находящегося в нем цезия-137.

При перетопке сала из него в шкварку переходит до 95% радиоцезия. При варке костей в бульон переходит 0,04% стронция-90, 2,5% йода-131 и 67,0% цезия-137.

4. Принципы и методы радиоэкологического нормирования.

Нормирование радиационного воздействия началось в 30-е гг. XX века. В это время для профессиональных работников была установлена дневная допустимая доза, которая соответствовала допустимому пределу дозы (ДПД), равному 0,6 Зв в год.

До середины 1970-х гг. ДПД рассматривался как некий пороговый уровень, ниже которого отсутствуют вредные для здоровья эффекты облучения, в т. ч. отдаленные. В 1934 г. впервые Международной комиссией по защите от рентгеновского излучения и радия была рекомендована толерантная доза (200 мР/сут). В последующем, по мере выявления неблагоприятных последствий облучения, а также с накоплением знаний и опыта защиты, нормативы, к разработке которых подключилась и Национальная комиссия России, многократно пересматривались в сторону их снижения.

Какова опасность малых доз радиации?

Как уже отмечалось, до сих пор нет однозначного ответа на этот вопрос. Критерием опасности облучения считают учащение случаев онкологических заболеваний и генетических нарушений по отношению к спонтанному уровню. Дополнительный рост числа таких недугов становится значимым в экономическом плане. Возможный риск возникновения заболеваний не должен превышать риск их возникновения в благополучных отраслях производства.

Как известно любая деятельность человека связана с определенным риском. Человек и общество идут на риск ради получения материальной выгоды. При регламентации допустимого облучения персонала и населения исходят из гипотезы беспороговой зависимости доза-эффект, считая, что при любой сколь угодно малой дозе, облучение может привести к возникновению злокачественных новообразований и генетических нарушений. Для оценки риска при малых дозах эффекты, наблюдаемые при средних и

больших дозах, экстраполируют к величине 10 мЗв, принимая начальный участок дозовой зависимости линейным. Такой подход наиболее приемлем в обеспечении радиационной безопасности. Однако остается не ясным, будет ли ответная реакция организма на облучение при малых дозах такой же, как и при больших.

Согласно последним оценкам, среди 1 млн человек облученных дозой 10 мЗв каждый, злокачественные новообразования могут быть спровоцированы у 480 человек, причем в 400 случаях — со смертельным исходом, в 80 — с серьезными генетическими нарушениями. Эти величины составляют лишь незначительную часть спонтанной заболеваемости: среди 1 млн человек от онкологических заболеваний умирает около 200 тыс., и это число увеличивается ежегодно примерно на 2%.

Установить реальную величину риска от облучения малыми дозами в эксперименте и эпидемиологических наблюдениях невероятно сложно. Для статистически значимого установления зависимости доза—эффект на уровне облучения 0.1 и 0.01 Зв наблюдаемые группы и аналогичные контрольные должны насчитывать соответственно 100 тыс. и 10 млн. человек. В экспериментах потребуется также огромное число подопытных животных. При этом необходимо исключить или учесть (что затруднительно) влияние других вредных факторов внешней среды, которое может быть более сильным, чем облучения в малых дозах. В условиях глобального загрязнения внешней среды различного рода физическими, химическими и биологическими агентами сделать это практически невозможно.

По современным данным, облучение человека может привести к детерминированным и стохастическим последствиям. Первые проявляются после гибели критического числа клеток, потерю которых организм не может компенсировать размножением оставшихся жизнеспособных клеток. Клинически детерминированные эффекты выражаются в функциональных нарушениях отдельных органов и организма в целом после облучения и проявляются, когда доза превышает некоторый порог. С ростом дозы тяжесть поражения быстро нарастает. Величина порога для разных тканей неодинакова. Раньше других страдают «критические» органы с иерархической структурой тканей и максимальной скоростью клеточного обновления. Наиболее радиочувствительны—красный костный мозг,

хрусталик глаза и органы размножения. Пороговая доза для кратковременного угнетения кроветворения при остром облучении —0.5 Зв, для помутнения хрусталика —0.5—2 Зв, временная стерильность у мужчин возникает при дозе 2.5—6 Зв. Для плода доза 0.2 Зв чревата серьезной умственной отсталостью ребенка после рождения.

В производственных условиях персонал (а в аварийных условиях и население на радиоактивно-загрязненной местности) подвергается хроническому облучению, как правило, в малых дозах и с низкой мощностью. Биологическая эффективность такого облучения существенно ниже острого, что связано с включением компенсаторных механизмов, которые в таких условиях могут в течение определенного времени обеспечивать нормальную жизнедеятельность организма. Для хронического облучения характерно медленное развитие нарушений. При длительном слабоинтенсивном облучении (1 мЗв в год) развитие хронической лучевой болезни становится возможным, когда накопление суммарной дозы достигает несколько зивертов и больше. В реакции организма можно выделить четыре фазы: отсутствие или слабая выраженность функциональных нарушений, напряжение или нарушение защитно-компенсаторных механизмов вплоть до структурных повреждений. О развитии хронической лучевой болезни свидетельствуют клинические проявления недостаточности компенсаторных механизмов. Длительность фаз и переход из одной в другую зависит от мощности и величины поглощенной дозы, действия других вредных факторов и условий жизни человека. **Стохастические эффекты** (злокачественные новообразования и генетические нарушения) обусловлены повреждением клеток на молекулярном уровне от случайного взаимодействия заряженной частицы излучения с молекулой ДНК. Такие последствия могут проявиться в отдаленные сроки при поражении даже одной клетки. Таким образом, вероятность возникновения нарушений в организме пропорциональна поглощенной дозе, а их тяжесть от величины дозы не зависит. Однако это всего лишь гипотеза, и многие исследователи с ней не согласны, так как, по данным эпидемиологических наблюдений и экспериментальных исследований, беспороговое действие радиации пока не подтверждено.

В 1977 г. в целях повышения уровня безопасности при использовании ионизирующего излучения и исходя из современных представлений о действии малых доз радиации, Международная комиссия радиационной защиты (МКРЗ) приняла концепцию беспороговой линейной зависимости возникновения злокачественных новообразований и генетических повреждений при нормировании радиационного фактора и оценки возможных неблагоприятных для здоровья отдаленных последствий облучения. Из этой концепции вытекают три основных принципа радиационной защиты, которые приняты в современном нормировании.

Принцип обоснования. Не должна проводиться любая деятельность, связанная с использованием источников ионизирующего излучения, если польза для отдельных лиц и общества в целом не превышает риска, вызванного дополнительным облучением (по отношению к естественному радиоактивному фону).

Принцип оптимизации. При использовании любого источника ионизирующего излучения индивидуальные дозы и число облучаемых людей должны поддерживаться на столь низком уровне, насколько это возможно и достижимо с учетом экономических и социальных факторов.

Принцип нормирования. Индивидуальная доза облучения персонала и населения от всех источников ионизирующего излучения в процессе их эксплуатации не должна превышать действующих дозовых пределов.

Реализация первого принципа осуществляется путем обязательного лицензирования деятельности, связанной с возможным воздействием на людей ионизирующего излучения.

Второй принцип реализуется путем автоматизации технологических процессов, оптимизации труда и введения системы контрольных уровней. **Контрольные уровни** — это значения дозовых пределов и допустимых уровней, устанавливаемых руководством учреждения (предприятия) и местными органами Госсанэпиднадзора в целях максимально возможного снижения радиационного воздействия на персонал, население и объекты окружающей природной среды по отношению к регламентируемым нормативам и исходя из достигнутого уровня радиационной безопасности.

Третий принцип реализуется путем осуществления государственного надзора за обеспечением радиационной безопасности и установленным порядком ответственности за превышение регламентируемых дозовых пределов.

6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).

Радиационная безопасность — состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

Радиационная безопасность персонала, населения и окружающей природной среды считается обеспеченной, если соблюдаются основные принципы радиационной безопасности (обоснование, оптимизация, нормирование) и требования радиационной защиты, установленные Федеральными законами РФ, действующими нормами радиационной безопасности и санитарными правилами.

- **Принцип обоснования** — запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного облучением. Должен применяться на стадии принятия решения уполномоченными органами при проектировании новых источников излучения и радиационных объектов, выдаче лицензий и утверждении нормативно-технической документации на использование источников излучения, а также при изменении условий их эксплуатации.

В условиях радиационной аварии принцип обоснования относится не к источникам излучения и условиям облучения, а к защитному мероприятию. При этом в качестве величины пользы следует оценивать предотвращенную данным мероприятием дозу. Однако мероприятия, направленные на восстановление контроля над источниками излучения, должны проводиться в обязательном порядке.

- **Принцип оптимизации** предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне как индивидуальных (ниже пределов, установленных действующими нормами), так и коллективных доз облучения, с учетом социальных и экономических факторов. В условиях радиационной аварии, когда вместо пределов доз действуют более высокие уровни вмешательства, принцип оптимизации должен применяться к защитному мероприятию с учетом предотвращаемой дозы облучения и ущерба, связанного с вмешательством. Также известен, в том числе в международной практике^[1], как принцип ALARA(ALARP).
- **Принцип нормирования**, требующий не превышения установленных Федеральными законами РФ и действующими нормами РБ индивидуальных пределов доз и других нормативов РБ, должен соблюдаться всеми организациями и лицами, от которых зависит уровень облучения людей.

Радиационная безопасность на объекте и вокруг него обеспечивается за счет:

- качества проекта радиационного объекта;
- обоснованного выбора района и площадки для размещения радиационного объекта;
- физической защиты источников излучения;
- зонирования территории вокруг наиболее опасных объектов и внутри них;
- условий эксплуатации технологических систем;
- санитарно-эпидемиологической оценки и лицензирования деятельности с источниками излучения;
- санитарно-эпидемиологической оценки изделий и технологий;
- наличия системы радиационного контроля;
- планирования и проведения мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при нормальной работе объекта, его реконструкции и выводе из эксплуатации;
- повышения радиационно-гигиенической грамотности персонала и населения.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается:

- ограничениями допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям;
- знанием и соблюдением правил работы с источниками излучения;
- достаточностью защитных барьеров, экранов и расстояния от источников излучения, а также ограничением времени работы с источниками излучения;
- созданием условий труда, отвечающих требованиям действующих норм и правил РБ;
- применением индивидуальных средств защиты;
- соблюдением установленных контрольных уровней;
- организацией радиационного контроля;
- организацией системы информации о радиационной обстановке;
- проведением эффективных мероприятий по защите персонала при планировании повышенного облучения в случае угрозы и возникновении аварии.

Радиационная безопасность населения обеспечивается:

- созданием условий жизнедеятельности людей, отвечающих требованиям действующих норм и правил РБ;
- установлением квот на облучение от разных источников излучения;
- организацией радиационного контроля;
- эффективностью планирования и проведения мероприятий по радиационной защите в нормальных условиях и в случае радиационной аварии;
- организацией системы информации о радиационной обстановке.

Организационные мероприятия, обеспечивающие радиационную безопасность работ

Согласно действующим в РФ нормам РБ организационными мероприятиями, обеспечивающими радиационную безопасность работ, являются:

- оформление работы нарядом или распоряжением;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерывов в работе;
- оформление окончания работы.

Санкции за нарушение требований норм и правил по радиационной безопасности в РФ

За нарушение санитарного законодательства устанавливается дисциплинарная, административная и уголовная ответственность в соответствии со статьей 55 Федерального закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Административная ответственность устанавливается за следующие нарушения санитарного законодательства:

- нарушение санитарно-эпидемиологических требований к жилищным помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта;
- нарушение санитарно-эпидемиологических требований к организации питания населения, продукции, ввозимой на территорию Российской Федерации, продукции производственно-технического назначения, химическим, биологическим веществам и отдельным видам продукции, потенциально опасным для человека, товарам для личных и бытовых нужд, пищевым продуктам, пищевым добавкам, продовольственному сырью, а также контактирующим с ними материалами и изделиями, новым технологиям производства;
- нарушение санитарно-эпидемиологических требований к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху в городских и сельских поселениях, воздуху в местах постоянного или временного пребывания человека, почвам, содержанию территорий городских, сельских поселений и промышленных площадок, сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке, хранению и захоронению отходов производства и потребления, а также к планировке и застройке городских и сельских поселений;
- нарушение санитарно-эпидемиологических требований к условиям труда, воспитанию и обучению, работы с источниками физических факторов воздействия на человека, работы с биологическими веществами, биологическим и микробиологическим организмам и их токсинам;
- невыполнение санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

Административные взыскания за нарушение санитарного законодательства налагаются постановлениями должностных лиц, осуществляющих государственный санитарно-эпидемиологический надзор, в соответствии с полномочиями, предусмотренными статьей 51 Федерального закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Дисциплинарная и уголовная ответственность за нарушение санитарного законодательства устанавливается законодательством Российской Федерации.

Действующие в России правила и нормы

- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010);
- Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-2003);
- Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99);
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
- Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Контрольные вопросы:

1. Назовите средства индивидуальной защиты от радиации и препараты уменьшающие негативные эффекты радиации на организм.
2. Расскажите об источниках ионизирующих излучений закрытого типа и способах защиты от них.
3. Расскажите об источниках ионизирующих излучений открытого типа и способах защиты от них.
4. Расскажите об защитных мероприятиях при авариях на АЭС.
5. Расскажите о мероприятиях по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию и продукты питания.
6. Назовите принципы и методы радиоэкологического нормирования.
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).

Литература:

1. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов // С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая и др. Под общей ред. С.В. Белова. Шестое издание. М.: Высшая школа, 2006.
2. Бадрутдинов О.Р., Тюменев Р.С. Радиационная безопасность и дозиметрия. Казань: Издательство КГУ, 2009.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). П2.6.1.2523-09,2009.
4. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).СП 2.6.1.799-99. Минздрав России,2000.
5. Сердюкова А.С., Иванова Т.М. Радиационная безопасность и дозиметрия. Учебное пособие. М. : МГГА, 2001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абрамова В.Н. и др. А нужна ли ядерная энергетика. –М.: ИздАТ, 1992.
2. Атаманюк В.Г. и др. Гражданская оборона. –М.: Высшая школа, 1986.
3. Алексахин Р.М. Ядерная энергетика и биосфера. М. Энергоиздат, 1982.
4. Бадрутдинов О.Р., Тюменев Р.С. Радиационно-экологический мониторинг окружающей среды. Казань: Издательство КГУ, 2009.
5. Бадрутдинов О.Р., Тюменев Р.С. Радиационная безопасность и дозиметрия. Казань: Издательство КГУ, 2009.

6. Бадрутдинов О.Р., Тюменев Р.С. Радиационная экология (конспект лекций). Казань: Издательство КГУ, 2014.
7. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов // С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая и др. Под общей ред. С.В. Белова. Шестое издание. М.: Высшая школа, 2006.
8. Бекман И.Н. Ядерная индустрия (курс лекций). Москва, 2005.
9. Василенко О.В. Радиационная экология. М.: Медицина, 2004.
10. Гутенев В. В. Промышленная экология : учеб. пособие для студентов вузов/ под ред. В. В. Денисова. -М. : Ростов н/Д: МарТ, 2007.
11. Горбунов А.В. Учебно-методический комплекс дисциплины «Радиационная экология».- М: МГУТУ, 2012.
12. Гродзенский Д.Э. Радиобиология. Биологическое действие ионизирующих излучений. –М.: Атомиздат, 1966.
13. Давыдов М. Г., Бураева Е. А., Зорина Л. В. Радиоэкология. Учебник для вузов, 2008.
14. Дудин П.Г. Безопасность жизнедеятельности, ч. III. Чрезвычайные ситуации. Учебное пособие // П.Г. Дудин, Ю.Г. Минин и др. Таганрог: 2003.
15. Егоров Ю.В. Рабочая учебная программа по дисциплине «Проблемы радиационной безопасности Уральского региона». – Екатеринбург, 2012.
16. Жуковский В.М. Радиоактивность и радиационная безопасность :Общедоступ.лекции для студентов, журналистов, чиновников и избранников народа всех уровней/ Урал.гос.ун-т им.А.М.Горького. -Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2004
17. Ильенко А.И., Криволицкий Д.А. Радиоэкология. М. Знание, 1971.
18. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. –М.: Энергоатомиздат, 1997.
19. Коггл Дж. -Биологические эффекты радиации. — М.:Энергоатомиздат, 1986
20. Кудряшев Ю.Б. Радиационная биофизика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
21. Криволицкий Д.А. Биоиндикация радиоактивных загрязнений. М.: Наука, 1999.
22. Криволицкий Д.А. Радиоэкология сообществ наземных животных. М. Энергоатомиздат, 1983.
23. Криволицкий Д.А. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз / Криволицкий Д. А., Тихомиров Ф.А., Федоров Е.А., Покаржевский А.Д., Таскаев А.И. М. Наука, 1988.
24. Лебединский А. В. Влияние ионизирующей радиации на организм животного и человека, М., 1957
25. Маврищев В.В. Радиоэкология и радиационная безопасность. Пособие для студентов вузов, 2010.
26. Нормы радиационной безопасности НРБ – 76.87 и ионизирующих излучений ОСП-72.87. –М.: Энергоатомиздат, 1988.
27. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). П2.6.1.2523-09,2009.
28. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)
29. Перцов Л.А. Природная радиоактивность биосферы. М. :Атомиздат,1964.
30. Перцов Л. А. Ионизирующие излучения биосферы. М., Атомиздат, 1973.
31. Пивоваров Ю. П., Михалев В.П. Радиационная экология :Учеб.пособие для студентов вузов/ -М. : Академия, 2004.
32. Руднев А.В. Радиационная экология. М. :Изд-во МГУ,1990.
33. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности. МУ 2.6.1.2398-08.
34. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности: МУ 2.6.1. 2838-11.

35. Сахаров В.К. Радиоэкология. СПб.: Издательство «Лань», 2006.
36. Сафонова В.Ю., Сафонова В.А. Радиационная экология. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2005.
37. Сергеев В.С. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для студентов вузов/ В. С. Сергеев. -М. : Акад. Проект, 2007.
38. Сердюкова А.С., Иванова Т.М. Радиационная безопасность и дозиметрия. Учебное пособие. М. : МГГА, 2001.
39. Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2007.
40. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: Бином, 2006.
41. Тюменев Р.С., Бадрутдинов О.Р. Радиоэкологические исследования окружающей среды. Методические указания для практических занятий студентов. Казань, 1998.
42. Ярошинская А.А. Ядерная энциклопедия. :Благотворительный фонд Ярошинской, 1996.

ГЛОССАРИЙ.

Авария - нарушение эксплуатации объекта ядерного топливного цикла, при котором произошел выход ядерных материалов, радиоактивных веществ и (или) ионизирующего излучения за предусмотренные проектом объекта ядерного топливного цикла для нормальной эксплуатации границы в количествах, превышающих установленные пределы безопасной эксплуатации. Авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями.

Авария радиационная - потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (пер-

сонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Авария радиационная проектная - авария, для которой проектом определены исходные и конечные состояния радиационной обстановки и предусмотрены системы безопасности.

Авария ядерная – авария, произошедшая вследствие неконтролируемой самоподдерживающейся цепной ядерной реакции деления.

Активность (А) - мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида, находящегося в данном энергетическом состоянии в данный момент времени. Единицей активности является беккерель (Бк). Используемая ранее внесистемная единица активности кюри (Ки) составляет $3,7 \times 10^{10}$ Бк.

Активность удельная (объемная) - отношение активности А радионуклида в веществе к массе m(объему V) вещества: Единица удельной активности -беккерель на килограмм, Бк/кг. Единица объемной активности -беккерель на метр кубический, Бк/м³.

Активность минимально значимая - активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение на использование этих источников, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности.

Активность эквивалентная равновесная объемная дочерних продуктов изотопов радона -²²²Rn и ²²⁰Rn-взвешенная сумма объемных активностей короткоживущих дочерних продуктов изотопа радона -²¹⁸Po(RaA); ²¹⁴Pb(RaB); ²¹⁴Bi(RaC); ²¹²Pb(ThB); ²¹²Bi(ThC) соответственно: (ЭРОА) Rn= 0,10 A_{RaA}+ 0,52 A_{RaB}+ 0,38 A_{RaC}. (ЭРОА) Th= 0,91 A_{ThB}+ 0,09 A_{ThC}, где A_i-объемные активности дочерних продуктов изотопа радона.

Вещество радиоактивное -вещество в любом агрегатном состоянии, содержащее радионуклиды с активностью, на которые распространяются требования НРБ-99/2009.

Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы(WR) -используемые в радиационной защите множители поглощенной дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы(WT) -множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении.

Вмешательство - действие, направленное на снижение вероятности облучения, либо дозы или неблагоприятных последствий облучения.

Группа критическая - группа лиц из населения (не менее 10 человек), однородная по одному или нескольким признакам - полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника излучения.

Дезактивация - удаление или снижение радиоактивного загрязнения с какой-либо поверхности или из какой-либо среды.

Доза поглощенная (D)-величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу. Энергия может быть усреднена по любому определенному объему, и в этом случае средняя доза будет равна полной энергии, переданной объему, деленной на массу этого объема. В единицах СИ поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название - грей (Гр). Используемая ранее внесистемная единица рад равна 0,01 Гр. Доза в органе или ткани (DT)-средняя поглощенная доза в определенном органе или ткани человеческого тела.

Доза эффективная (E) - величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты. Единица эффективной дозы -зиверт (Зв).

Доза эквивалентная -поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения. При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения.

Доза эффективная (эквивалентная) годовая - сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год.

Доза эффективная коллективная - мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы - человеко-зиверт (чел-Зв).

Доза предотвращаемая-прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями.

Загрязнение радиоактивное - присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека или воздействие по данному пути облучения от данного источника излучения.

Загрязнение поверхности не снимаемое (фиксированное) - радиоактивные вещества, которые не переносятся при контакте на другие предметы и не удаляются при дезактивации.

Загрязнение поверхности снимаемое (нефиксированное) - радиоактивные вещества, которые переносятся при контакте на другие предметы и удаляются при дезактивации.

Захоронение радиоактивных отходов - размещение радиоактивных отходов в хранилище без намерения последующего их извлечения.

Зона наблюдения - территория за пределами санитарно-защитной зоны, на которой проводится радиационный контроль.

Зона радиационной аварии - территория, на которой установлен факт радиационной аварии.

Источник ионизирующего излучения - (в рамках данного документа - источник излучения) - радиоактивное вещество или устройство, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение, на которое распространяется действие НРБ-99.

Источник излучения закрытый - источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан.

Источник излучения открытый - источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду.

Источник излучения природный - источник ионизирующего излучения природного происхождения, на который распространяется действие НРБ-99.

Источник излучения техногенный - источник ионизирующего излучения, специально созданный для его полезного применения или являющийся побочным продуктом этой деятельности.

Квота - часть предела дозы, установленная для ограничения облучения населения от конкретного техногенного источника излучения и пути облучения (внешнее, поступление с водой, пищей и воздухом).

Контроль радиационный - получение информации о радиационной обстановке в организации, в окружающей среде и об уровнях облучения людей (включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль).

Культура безопасности - квалификационная и психологическая подготовленность всех лиц, при которой обеспечение безопасности объекта ядерного топливного цикла является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к осознанию личной ответственности и к самоконтролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность.

Место рабочее - место постоянного или временного пребывания персонала для выполнения производственных функций в условиях воздействия ионизирующего излучения в течение более половины рабочего времени или двух часов непрерывно.

Мощность дозы - доза излучения за единицу времени (секунду, минуту, час).

Облучение - воздействие на человека ионизирующего излучения.

Облучение природное - облучение, которое обусловлено природными источниками излучения.

Облучение производственное - облучение работников от всех техногенных и природных источников ионизирующего излучения в процессе производственной деятельности.

Облучение планируемое повышенное - планируемое облучение персонала в дозах, превышающих установленные основные пределы доз, с целью предупреждения развития радиационной аварии или ограничения ее последствий.

Облучение потенциальное - облучение, которое может возникнуть в результате радиационной аварии.

Облучение профессиональное - облучение персонала в процессе его работы с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Облучение техногенное - облучение от техногенных источников, как в нормальных, так и в аварийных условиях, за исключением медицинского облучения пациентов.

Обращение с радиоактивными отходами - все виды деятельности в области использования атомной энергии, связанной со сбором, с транспортированием, переработкой, хранением и (или) захоронением радиоактивных отходов, проектированием (конструированием), размещением, сооружением, вводом в эксплуатацию, выводом из эксплуатации и закрытием объектов по обращению с радиоактивными отходами.

Объекты по обращению с радиоактивными отходами - установки, системы, оборудование, сооружения, производства, хранилища и иные объекты, на которых осуществляется обращение с радиоактивными отходами.

Объект радиационный - организация, где осуществляется обращение с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Отработавшее ядерное топливо - облученное ядерное топливо, дальнейшее использование которого в ядерном реакторе не предусматривается.

Отходы радиоактивные - не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные НРБ-99 и настоящими Правилами.

Паспорт радиационно-гигиенический организации - документ, характеризующий состояние радиационной безопасности в организации и содержащий рекомендации по ее улучшению.

Паспорт радиационно-гигиенический территории - документ, характеризующий состояние радиационной безопасности населения территории и содержащий рекомендации по ее улучшению.

Персонал - лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).

Переработка радиоактивных отходов - технологические операции, направленные на изменение агрегатного состояния и (или) физико-химических свойств радиоактивных отходов и осуществляемые для перевода их в формы, приемлемые для транспортирования, хранения и (или) захоронения.

Предел дозы (ПД) - величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

Предел годового поступления (ПГП) - допустимый уровень поступления данного радионуклида в организм в течение года, который при монофакторном воздействии приводит к облучению условного человека ожидаемой дозой, равной соответствующему пределу годовой дозы.

Пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов - не относящиеся к ядерным установкам (см. ниже) и радиационным источникам стационарные объекты и сооружения, предназначенные для хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранения или захоронения радиоактивных отходов;

Работа с источником ионизирующего излучения - все виды обращения с источником излучения на рабочем месте, включая радиационный контроль.

Работа с радиоактивными веществами - все виды обращения с радиоактивными веществами на рабочем месте, включая радиационный контроль.

Радиационная авария - потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Радиационные источники - не относящиеся к ядерным установкам комплексы, установки, аппараты, оборудование и изделия, в которых содержатся радиоактивные вещества или генерируется ионизирующее излучение.

Радиационная безопасность населения - состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

Радиоактивные вещества - не относящиеся к ядерным материалам вещества, испускающие ионизирующее излучение;

Радиоактивные отходы - ядерные материалы и радиоактивные вещества, дальнейшее использование которых не предусматривается.

Радионуклид - радиоактивные атомы данного химического элемента.

Радионуклидный источник - вещество, содержащее радионуклид (смесь радионуклидов), заключенное в оболочку либо другим способом зафиксированное в объеме какого-либо материала или на его поверхности и используемое в качестве источника ионизирующего излучения.

Риск радиационный - вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

Санитарно-защитная зона - территория вокруг источника ионизирующего излучения, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения населения.

Сбор радиоактивных отходов - сосредоточение радиоактивных отходов в специально отведенных и оборудованных местах;

Специализированная организация по обращению с радиоактивными отходами - эксплуатирующая организация, осуществляющая обращение с радиоактивными отходами и иные виды деятельности в области использования атомной энергии, не связанные непосредственно с эксплуатацией ядерных установок и радиационных источников, кроме тех случаев, когда использование ядерных установок и радиационных источников необходимо для обращения с радиоактивными отходами;

Средство индивидуальной защиты – средство защиты персонала от внешнего облучения, поступления радиоактивных веществ внутрь организма и радиоактивного загрязнения кожных покровов.

Транспортирование радиоактивных отходов - перемещение радиоактивных отходов с применением транспортных и грузоподъемных средств;

Уровень вмешательства (УВ) - уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия.

Уровень контрольный - значение контролируемой величины дозы, мощности дозы, радиоактивного загрязнения и т.д., устанавливаемое для оперативного радиационного контроля с целью закрепления достигнутого уровня радиационной безопасности, обеспечения дальнейшего снижения облучения персонала и населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Устройство (источник), генерирующее ионизирующее излучение - электрофизическое устройство (рентгеновский аппарат, ускоритель, генератор и т.д.), в котором ионизирующее излучение возникает за счет изменения скорости заряженных частиц, их аннигиляции или ядерных реакций.

Физический барьер—преграда на пути распространения ионизирующего излучения, ядерного материала, радиоактивного вещества.

Физическая защита объекта ядерного топливного цикла - технические и организационные меры по обеспечению сохранности содержащихся на объекте ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, предотвращению несанкционированного проникновения на территорию объекта ядерного топливного цикла, предотвращению несанкционированного доступа к ядерным материалам и радиоактивным веществам, своевременному обнаружению и пресечению диверсионных и террористических актов, угрожающих безопасности объекта ядерного топливного цикла.

Хранение радиоактивных отходов - размещение радиоактивных отходов в хранилище с намерением последующего их извлечения;

Хранилище радиоактивных отходов - стационарный объект или стационарное сооружение, предназначенные для хранения или захоронения радиоактивных отходов;

Эффекты излучения детерминированные - клинически выявляемые вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, в отношении которых предполагается существование порога, ниже которого эффект отсутствует, а выше - тяжесть эффекта зависит от дозы.

Эффекты излучения стохастические - вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы.

Ядерные материалы-материалы, содержащие или способные воспроизвести делящиеся (расщепляющиеся) ядерные вещества;

Ядерные установки - сооружения, комплексы с ядерными материалами, предназначенные для производства, переработки, транспортирования ядерного топлива и ядерных материалов, включая добычу урановых руд, гидрометаллургическую переработку, аффинаж, сублиматное и металлургическое производство, разделение изотопов урана, производство энергии, радиохимическую переработку ядерного топлива, а также для обращения с образующимися при этом радиоактивными отходами.