

Программа межфакультетского курса
Радиоактивность в среде обитания. Радиоэкологический мониторинг.
(осенний семестр 2015/16 учебного года)

Темы лекций

Лекция 1. Явление радиоактивности. Стабильные и радиоактивные нуклиды. Типы распада. Основной закон радиоактивного распада. Единицы радиоактивности. Закон накопления. Радиоактивные равновесия.

Лекция 2. Естественные и космогенные радионуклиды. Радионуклиды как инструмент наук о Земле, индикаторы скорости и направления переноса вещества в природе. Радиоуглеродное датирование.

Лекция 3. Техногенные радионуклиды, источники их поступления в среду обитания. Локальные, региональные и глобальные выпадения. Пути миграции радионуклидов в природе.

Лекция 4. Переработка и обогащение урановой руды. Атомные электростанции, промышленные ядерные реакторы. Переработка, изоляция и захоронение отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов.

Лекция 5. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. Основные механизмы передачи (потери) кинетической энергии α - и β -частиц. Ионизирующее действие жесткого электромагнитного излучения.

Лекция 6. Измерение ионизирующих излучений. Общие принципы и основные методы регистрации ионизирующих излучений. Детекторы. Идентификация радионуклидов.

Лекция 7. Радиационная безопасность и основные понятия дозиметрии. Общие представления о механизме действия ионизирующего излучения на организм. Биологическое действие различных типов ядерных излучений. Современная система дозиметрических величин.

Лекция 8. Радиационная безопасность и основные понятия дозиметрии. Нормативные документы (НРБ-99/2009) и значения мощности эквивалентной дозы для различных объектов. Пределы допустимой дозы облучения. Принципы, лежащие в основе радиационной защиты.

Лекция 9. Радиационных фон. Его составляющие. Вклад различных факторов в величину дозы естественного (фоновое) облучения. Флуктуации фона в различных географических зонах и на местности.

Лекция 10. Радионуклидная медицинская диагностика и радиотерапия. Рентгеновское обследование. Радионуклиды для диагностики и разрушения опухолей, ядерно-физический аспект выбора. Получение (производство) радионуклидов с помощью изотопных генераторов.

Лекция 11. Терапевтические α -, β -радионуклиды. Терапевтические β -излучатели (^{131}I , ^{67}Cu , ^{177}Lu , ^{90}Y и др.), перспективные α -излучатели (^{211}At , ^{225}Ac , ^{212}Bi). Радиофармпрепараты. Брахиотерапия. Однофотонная томография ($^{99\text{m}}\text{Tc}$). Позитронно-эмиссионная томография, [^{18}F]-FDG. ПЭТ-центры в РФ.

Лекция 12. Принципы организации радиационно-экологической экспертизы на местности, в зданиях и сооружениях различного назначения. Эсхалация радона на поверхность земли. Пути попадания радона и торона в помещения. Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в помещениях и ее нормативные уровни. Пути предотвращения или сведения к минимуму ЭРОА в помещениях.

Лекция 13. Определение естественных радионуклидов и техногенного цезия-137 в объектах окружающей среды. Нормативная база, лимитирующая их содержание. Национальные нормы радиационной безопасности и санитарные правила. Рекомендации международных организаций и методические указания государственных органов.

Курс предусматривает (помимо 26 час лекций) 2-х часовое показательное занятие на территории МГУ имени М.В. Ломоносова по проведению радиозэкологической экспертизы.

Программа межфакультетского курса

Радиоактивность в среде обитания. Радиоэкологический мониторинг.

Раздел 1. Явление радиоактивности.

Свойства атомного ядра: заряд, масса, объем (геометрическое сечение) ядра. Нуклоны, их характеристики. Комбинация числа протонов и нейтронов, обеспечивающих устойчивость ядра. Изотопы. Радиоактивные нуклиды. Соотношение Эйнштейна. Энергия самопроизвольного ядерного превращения (распада) и энергия испускаемых частиц (фотонов). Естественные, космогенные и техногенные радионуклиды.

Типы радиоактивного распада. Альфа-распад. Спектр и кинетическая энергия α -частиц. Закономерности β -распада. Три типа бета-распада: β^- и β^+ -распад, электронный захват. Превращения нуклонов ядра при β -распаде. Конкуренция видов распада. Непрерывность и форма спектра β -частиц. Нейтрино и антинейтрино. Средняя кинетическая энергия частиц. Аннигиляционное излучение. Характеристическое рентгеновское излучение, сопровождающее электронный захват.

Фотонное излучение, сопровождающее ядерные превращения. Дискретность спектра γ -излучения. Энергия γ -квантов. Время жизни ядра в возбужденном состоянии. Метастабильное состояние, изомерный переход.

Схематическое изображение различных типов ядерных превращений. Примеры схем распадов некоторых нуклидов.

Раздел 2. Естественные, космогенные и техногенные радионуклиды.

Космическое излучение. Естественные радионуклиды рядов ^{235}U , ^{238}U и ^{232}Th в окружающей среде; калий-40. Космическое излучение и космогенные радионуклиды; углерод-14. Радионуклиды как инструмент наук о Земле, индикаторы скорости и направления переноса вещества в природе. Определение возраста геологических объектов. Радиоуглеродный метод определения возраста объектов органического происхождения.

Техногенные радионуклиды. Источники техногенного загрязнения окружающей среды. Водные и атмосферные пути миграции техногенных радионуклидов (Чернобыль). Перенос почва – растение. Цезий-137 и стронций-90. Пищевые цепочки.

Переработка и обогащение урановой руды. Атомные электростанции, промышленные ядерные реакторы. Переработка, изоляция и захоронение отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов.

Раздел 3. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. Регистрация и измерение ионизирующих излучений.

Ионизирующее излучение, ионизация. Ядерное излучение: корпускулярное, фотонное, непосредственно или косвенно ионизирующее. Заряд, масса, радиус элементарных частиц. Электронная плотность вещества. Энергия связи электронов, энергия ионизации атомов (молекул), энергия диссоциации химической связи.

Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом (на примере α -частиц). Кинетическая энергия и скорость перемещения α -частиц. Неупругое взаимодействие: ионизация и возбуждение атомов. Ионизация среды, дельта-лучи. Средние потери энергии на единицу длины пробега. Трек и пробег α -частиц. Особенности регистрации α -излучения. Последствия воздействия α -излучения на биологические объекты.

Взаимодействие электронов и β -излучения с веществом. Кинетическая энергия и скорость перемещения электронов в среде. Ионизационные и радиационные потери (тормозное электромагнитное излучение). Черенковское излучение. Многократное рассеяние электронов, трек и экстраполированный пробег электронов. Поглощение энергии и трек β^- -частиц в воде. Проникающая способность и максимальный пробег β^- -частиц. Ослабление

потока β -частиц, экспоненциальный закон и границы его применения. Взаимодействие позитронов с веществом. Двухфотонная аннигиляция: энергия и угловое распределение образующихся γ -квантов.

Взаимодействие жесткого электромагнитного излучения (гамма, рентгеновское и тормозное) с веществом. Энергия и длина волны. Основные механизмы передачи энергии: фотоэффект, комптоновское рассеяние, эффект образования пары электрон-позитрон. Сравнение сечений трех первичных процессов передачи энергии, области преобладания отдельных механизмов. Экспоненциальный закон ослабления потока γ -квантов. Коэффициенты поглощения. Зависимость массового коэффициента ослабления от энергии γ -излучения. Проникающая способность γ -излучения, слой половинного ослабления. Ионизирующее действие жесткого электромагнитного излучения.

Взаимодействие нейтронов с веществом. Источники быстрых нейтронов: лабораторные, генераторы нейтронов, реакторы. Элементарная теория замедления (рассеяния) быстрых нейтронов. Передача энергии при упругих соударениях с ядрами. Ионизация среды при прохождении нейтронов через вещество.

Детекторы ионизирующих излучений. Газовые ионизационные камеры и счетчики. Счетчик Гейгера-Мюллера. Эффективность счетчиков к различным видам излучения.

Полупроводниковый детектор. Собственная и примесная проводимость. Процессы преобразования энергии излучения. Конструкции детекторов α - и γ -излучения.

Сцинтилляционные детекторы. Процессы преобразования энергии частиц (фотонов) в сцинтилляторе. Устройство фотоэлектронного умножителя, формирование сигнала детектора. Неорганические, органические и жидкие сцинтилляторы. Сцинтилляторы для детектирования альфа-, бета-, гамма- и нейтронного излучения.

Гамма-спектрометрия с использованием сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов. Аппаратурный γ -спектр. Пик полного поглощения энергии, комптоновский континуум. Относительное энергетическое разрешение. Жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия α - и β -излучения. Аппаратура для ЖС измерений.

Раздел 4. Радиационная безопасность и основные понятия дозиметрии.

Общие представления о механизме действия ионизирующего излучения на организм. Этапы биологического действия ИИ: физический; химический этап поражения клетки; биологический этап действия ИИ на живой организм. Радиоллиз воды. Линейная передача энергии и эффективность воздействия на организм различных типов ядерных излучений.

Поглощенная доза. Мощность дозы. Эквивалентная доза, взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучений. Эффективная доза, взвешивающие коэффициенты для тканей и органов.

Нормируемые величины. Предел допустимой дозы облучения. "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Детерминированные и вероятностные (стохастические) последствия облучения. Возможные последствия облучения при малых дозах. Линейная беспороговая модель воздействия малых доз.

Радиационный фон. Его составляющие. Дозы естественного (фоновое) облучения. Внешнее и внутреннее облучение. Вклад различных факторов в величину дозы естественного (фоновое) облучения. Флуктуации фона в различных географических зонах и на местности. Регионы с аномальной природной радиоактивностью (повышенное содержание тория и урана в почвах и горных породах в ряде районов Индии, Китая, Бразилии). Космические лучи и высотные полеты. Медицинское рентгеновское обследование.

Принципы, лежащие в основе радиационной защиты: (1) принцип обоснования, (2) принцип оптимизации защиты, (3) принцип использования пределов дозы.

Раздел 5. Радионуклидная медицинская диагностика и радиотерапия.

Рентгеновское обследование. Пределы годовых доз при профилактических исследованиях и при диагностических процедурах. Ядерно-физический аспект выбора радионуклидов, применяемых для диагностики и разрушения опухолей (тип излучения, энергия частиц, период полураспада). Получение (производство) радионуклидов для терапии и диагностики с помощью изотопных генераторов. Биомолекулы – средство доставки РН к пораженному органу. Радиофармпрепараты. Терапевтические β -излучатели (^{131}I , ^{67}Cu , ^{177}Lu , ^{90}Y и др.), перспективные α -излучатели (^{211}At , ^{225}Ac , ^{212}Bi). Брахиотерапия. Однофотонная томография ($^{99\text{m}}\text{Tc}$). Позитронно-эмиссионная томография, радиофармпрепарат [^{18}F]-FDG. ПЭТ-центры в РФ.

Раздел 6. Цели и задачи проведения радиационно-экологической экспертизы.

Эскалация радона на поверхность земли. Пути попадания радона и торона в помещения. Строительные материалы. Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в помещениях и ее нормативные уровни. Пути предотвращения или сведения к минимуму ЭРОА в помещениях.

Определение естественных радионуклидов и техногенного цезия-137 в объектах окружающей среды: почвы, вода, воздух, строительные материалы. Нормативная база, лимитирующая их содержание.

Принципы организации радиационно-экологического мониторинга на местности, в зданиях и сооружениях различного назначения на местности, в зданиях и сооружениях различного назначения. Обновление данных МЭД, ППР, ЭРОА и других параметров, характеризующих радиационную ситуацию на местности или объекте.

Законы РФ, направленные на создание безопасных условий для населения: «О радиационной безопасности населения № 3-ФЗ от 9-1-1996» и об «Охране окружающей среды №7 от 10-1-2002 г». Национальные нормы радиационной безопасности и санитарные правила. Рекомендации международных организаций и методические указания государственных органов.

Литература

1. Алиев Р.А., Калмыков С.Н. // Радиоактивность СПб.: из-во «Лань», 2013, 304 с.

2. Бекман И.Н. // Радиохимия, том I. Фундаментальная радиохимия. М.: из-во Юрайт, 2014, 472 с.

3. Лукьянов В.Б., Бердоносков С.С., Богатырев И.О., Заборенко К.Б., Иофа Б.З. // Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. М.: Высшая школа, 1985, 287 с. (электронный вариант на сайте кафедры радиохимии)

3. Афанасов М.И., Абрамов А.А., Бердоносков С.С. // Основы радиохимии и радиоэкологии» Сборник задач. М., Изд. МГУ, 2012, 116 с. (электронный вариант на сайте кафедры радиохимии)

Дополнительная литература

1. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика. М.: БИНОМ, 2006, 286 с.

2. Абрамов А.А., Бадун Г.А. Основы радиохимии и радиоэкологии» Москва-Баку, 2011, 140 с. (электронный вариант на сайте кафедры радиохимии)

3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009), М., Роспотребнадзор, 2009, 100 с.
4. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности, (ОСПОРБ 99/2010), М., Роспотребнадзор, 2010, 83 с.

Примеры вопросов на зачете:

Стабильные и радиоактивные нуклиды. Естественные и космогенные радионуклиды. Радионуклиды рядов ^{235}U , ^{238}U и ^{232}Th в окружающей среде. Калий-40, углерод-14.

Типы радиоактивного распада. Энергия ядерных превращений. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада. Распад и накопление радионуклидов. Радиохимические равновесия.

Бета-распад с испусканием электронов и позитронов. Энергетические спектры бета-излучения. Вторичные процессы в атоме, происходящие при электронном захвате.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Эффекты, сопровождающие прохождение излучения через вещество.

Взаимодействие альфа- и бета-частиц с веществом. Ослабление потоков излучения. Пробег и проникающая способность.

Методы регистрации гамма-излучения. Гамма-спектрометрия.

Регистрация альфа- и бета-излучений с помощью жидкостной сцинтилляционной спектрометрии.

Физические и химические последствия воздействия ионизирующего излучения на вещество. Действие ионизирующих излучений на живые организмы. Негативные эффекты облучения. Взаимосвязь эффект–доза.

Доза облучения. Эквивалентная и эффективная дозы. Допустимые уровни облучения для различных категорий населения.

Естественный радиационный фон на Земле. Его составляющие. Внешнее и внутреннее облучение человека. Радон как фактор облучения.

Радионуклиды в окружающей среде. Природные радионуклиды и их вклад в дозу внешнего и внутреннего облучения человека.

Поступление техногенных радионуклидов в окружающую среду, их вклад в дозу облучения населения. Миграция радионуклидов в природе. Атмосферные выпадения.

Радионуклиды, применяемые для диагностики и терапии. Терапевтические α - и β -излучатели (^{131}I , ^{67}Cu , ^{177}Lu , ^{90}Y и др.). Радиофармпрепараты. Брахиотерапия. Применение короткоживущих позитрон-испускающих радионуклидов в медицине (^{18}F -FDG).

Эскаляция радона на поверхность земли. Пути попадания радона и торона в помещения. Пути предотвращения или сведения к минимуму ЭРОА в помещениях.

Правила подготовки к экспертизе территорий (здания): рекогносцировка местности (строения). Определение круга задач. Составление плана экспертизы с учетом погодных условий, присутствия населения (или работников) в здании и т.д.

