

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СМОЛЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Н.Е. САМСОНОВА

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ РАДИОЛОГИЯ
СБОРНИК ТЕСТОВЫХ ВОПРОСОВ И ЗАДАЧ

СМОЛЕНСК – 2014

УДК 577.34: 632.118.3(075.8)

ББК 40.15я73

С 17

Рецензент: **Л.Ф. Остапенко**, канд. хим. наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование» филиала ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске

Самсонова Н.Е.

Сельскохозяйственная радиология: сборник тестовых вопросов и задач: учебное пособие / Н.Е. Самсонова; ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА». – 2-е изд., испр. и доп. - Смоленск, 2014. - 100 с.

В учебном пособии представлен комплекс тестовых вопросов и задач, которые составляют основу тренинга, призваны выполнять обучающую, контролирующую функцию и поиск путей совершенствования учебной работы.

Подготовлено в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство, направленности (профилю) подготовки Агрохимия - очной и заочной форм обучения.

Печатается по решению методического совета ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА» (протокол № 07 от «30» июня 2014 г.)

УДК 631.8(075.8)
ББК 40.446я73

©Самсонова Н.Е., 2014
©Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
профессионального образования
«Смоленская государственная
сельскохозяйственная академия», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие подготовлено в соответствии с рабочей программой по сельскохозяйственной радиологии для студентов, обучающихся по направлению 110900.62 – «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» и составлено с учетом многолетнего научно-педагогического опыта в области организации и проведения учебного процесса по курсу «Сельскохозяйственная радиология».

В современных условиях обучения, когда расширяется объем времени, предназначенного для самостоятельной работы студентов, требуется создание методической основы для ее организации и углубления.

Работа с учебником, как основная форма самостоятельного освоения материала, в сочетании с тестовыми вопросами и задачами, приведенными в настоящем пособии, поможет студенту глубже и целенаправленнее овладевать знаниями.

Изучаемый материал в пособии дифференцирован по разделам, отражающим последовательность изложения материала на лекционных и практических занятиях. В каждом разделе приводятся основные теоретические сведения и тестовые задания разных форм (выбор правильного ответа, дополнение требуемой информации, поиск соответствия двух множеств, установление правильной последовательности). Кроме того пособие содержит расчетные задачи и примеры их решения. В конце пособия помещены ответы, к которым студент может обратиться в случае затруднений или для проверки своих решений, необходимые справочные материалы и рекомендуемая литература.

Контроль самостоятельной работы студентов очной формы обучения может осуществляться путем ускоренного индивидуального опроса на занятиях на основе предварительного выбора преподавателем из предлагаемых в пособии вопросов разной степени сложности, которые могут быть предложены студенту на бумажном носителе или в электронном виде с использованием системы компьютерного тестирования. Последнее является наиболее эффективным вариантом мониторинга учебных достижений, так как позволяет быстро оценивать результат работы, точно определять темы, в которых имеются пробелы знаний, разгружает преподавателей от рутинной работы по выдаче индивидуальных контрольных заданий и проверке правильности решения. Кроме того, появляется возможность более частого контроля знаний, в том числе и самоконтроля, что стимулирует повторение и закрепление учебного материала.

Настоящее учебное пособие представляет собой дополненный и исправленный «Сборник вопросов и задач по сельскохозяйственной радиологии», составленный автором в 2010 г.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЛОГИИ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Атом – наименьшая частица химического элемента, сохраняющая все его свойства и входящая в состав молекул простых и сложных веществ. В нормальном состоянии отрицательный заряд электронов равен положительному заряду ядра, то есть, атом электронейтрален.

Любой атом состоит из *протонов, нейтронов и электронов*. Ядро состоит из протонов и нейтронов – *нуклонов* (от лат. *nucleus* – ядро). Сумму протонов и нейтронов в ядре называют *массовым числом* (A).

Электроны в атомах обладают неодинаковой энергией и в соответствии с ней располагаются на разных расстояниях от ядра, образуя энергетические уровни или электронные слои. Число электронов на каждом уровне определяется по формуле:

$$\bar{n}=2n^2,$$

где \bar{n} – число электронов, n – главное квантовое число (номер энергетического уровня).

Протон имеет положительный заряд, нейтрон заряда не имеет. Поэтому заряд ядра любого химического элемента определяется числом протонов и равен атомному номеру (Z) элемента в периодической системе Д.И. Менделеева. Ядра всех химических элементов принято называть *нуклидами*.

Массовое число и атомный номер нуклида указывают соответственно сверху и внизу от символа соответствующего элемента (${}_{38}^{90}\text{Sr}$, ${}_{94}^{239}\text{Pu}$)

Ядра одного и того же химического элемента содержат одинаковое число протонов, а число нейтронов в них может быть различным (уран-238 содержит 92 протона, 146 нейтронов, уран-235 – тоже 92 протона, но 143 нейтрона). *Атомы, имеющие ядра с одинаковым числом протонов, но различающиеся по числу нейтронов, называются изотопами одного и того же химического элемента*. Радиоактивные изотопы химических элементов называют *радионуклидами*. Первыми из них были открыты U, Th, Po, Ra.

Известны нуклиды, имеющие одинаковые массовые числа, но содержащие в ядре различное число протонов. Их называются *изобарами*.

(${}_{1}^3\text{H}$ и ${}_{2}^3\text{He}$, ${}_{8}^{16}\text{O}$ и ${}_{7}^{16}\text{N}$, ${}_{47}^{108}\text{Ag}$ и ${}_{48}^{108}\text{Cd}$ и др.)

Кроме того, известны нуклиды, ядра которых содержат одинаковые числа нейтронов, но разное – протонов. Такие нуклиды называют *изотонами*. Например, ${}_{20}^{44}\text{Ca}$ и ${}_{22}^{46}\text{Ti}$ (N = 24), ${}_{20}^{46}\text{Ca}$ и ${}_{22}^{48}\text{Ti}$ (N = 26), ${}_{6}^{14}\text{C}$, ${}_{7}^{15}\text{N}$ и ${}_{8}^{16}\text{O}$ (N = 8).

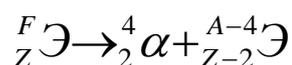
Наконец, есть еще один тип ядер, у которых равны не только суммы, но и отдельные числа протонов и нейтронов, но способность к радиоактивности у них различна. Такие ядра называют **изомерами**. Пример таких ядер – изомерные ядра протактиния-234. Возбужденные ядра протактиния-234 распадаются с периодом полураспада ($T_{1/2}$) 1,18 мин, невозбужденные – с $T_{1/2} = 6,4$ час. В процессе распада возбужденное ядро переходит в невозбужденное состояние. Сейчас известно около 200 изомерных пар.

Радиоактивностью называют самопроизвольное превращение неустойчивого изотопа одного химического элемента в изотоп другого элемента, сопровождающееся испусканием ионизирующих среду элементарных частиц и невидимого излучения.

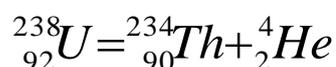
Ионизирующим называют излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к ионизации его атомов и молекул. Различают электромагнитное (рентгеновское, гамма-излучение) и корпускулярное излучение (поток частиц, характеризующихся массой, зарядом и скоростью – электронов, позитронов, нейтронов, протонов, альфа-частиц).

К основным видам радиоактивного распада относятся α -распад, β^- и β^+ -распад, электронный захват и спонтанное деление ядер. Часто эти виды радиоактивного распада сопровождаются испусканием γ -лучей, т.е. жесткого (с малой длиной волны) электромагнитного излучения.

При **альфа-распаде** ядро испускает α -частицу, состоящую из двух протонов и двух нейтронов. Она представляет собой ядро гелия (${}^4_2\text{He}$). Испуская α -частицу, радиоактивный элемент с массовым числом A и номером Z превращается в изотоп с массовым числом $(A - 4)$ и атомным номером $(Z - 2)$. Следовательно, дочернее ядро принадлежит атому элемента, смещенного в периодической системе на две клетки влево по отношению к материнскому:



Примером альфа-распада может служить распад изотопа урана-238:



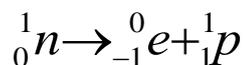
Альфа-частицы в состав ядра не входят. По современным представлениям они образуются в момент радиоактивного распада при встрече движущихся внутри ядра двух протонов и двух нейтронов.

Бета-распад проявляется в двух видах:

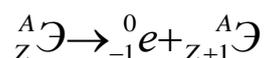
- бета-электронный распад – распад с испусканием одного электрона (β^- -частицы) и антинейтрино;
- бета-позитронный распад – распад с испусканием одного позитрона (β^+ -частицы) и нейтрино.

β^+ -частица – позитрон (e^+) – обладает массой электрона и зарядом, равным заряду электрона, но противоположным по знаку.

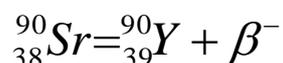
β^- -распаду предшествует процесс превращения в ядре нейтрона в протон:



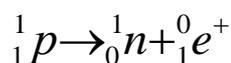
Поэтому при испускании электрона заряд ядра увеличивается на единицу, а массовое число не изменяется. Дочернее ядро – изобар исходного – принадлежит атому элемента, смещенного на одну клетку вправо в периодической системе от места материнского элемента:



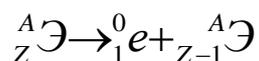
Бета-электронный распад характерен для ядер с избыточным числом нейтронов. Примером электронного бета-распада может служить распад изотопа стронция-90:



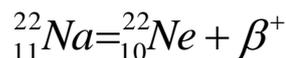
Позитронный распад. Позитронному процессу предшествует ядерный процесс превращения протона в нейтрон:



Число протонов в ядре при позитронном распаде уменьшается на единицу, а массовое число не изменяется. Образующееся ядро – изобар исходного ядра – принадлежит элементу, смещенному от материнского элемента на одну клетку влево в периодической системе:



Позитронный бета-распад характерен для ядер с избыточным числом протонов. Примером позитронного бета-распада может служить распад радионуклида натрия:

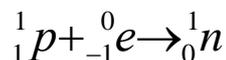


Выброс бета-частицы может сопровождаться испусканием одного или более гамма-квантов. Наиболее распространенный вид радиоактивных превращений – электронный бета-распад (β^-).

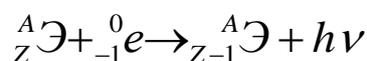
Таким образом, радиоактивный распад происходит в соответствии с *правилами смещения*, являющимися следствиями двух законов сохранения – сохранения электрического заряда и массового числа: сумма

зарядов (массовых чисел) возникающих ядер и частиц равна заряду (массовому числу) исходного ядра.

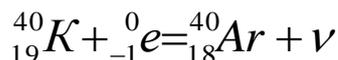
Электронный захват – самопроизвольное превращение атомного ядра, которое захватывает электрон из электронной оболочки атома (K , реже – L слоя). В результате образуется атомное ядро другого химического элемента с атомным номером $Z-1$, т.к. протон при взаимодействии с электроном превращается в нейтрон:



Масса ядра при этом остается прежней. Дочернее ядро принадлежит химическому элементу (изобару исходного элемента), смещенному по отношению к материнскому в периодической системе на одну клетку влево.



Примером электронного захвата может служить следующая реакция:



При переходе периферийных электронов на освободившееся в K -слое место выделяется энергия в виде кванта рентгеновского излучения.

Спонтанное деление ядер наблюдается лишь у наиболее тяжелых атомов и состоит в распаде ядра атома на два осколка (реже – три) со средними массовыми числами, который сопровождается испусканием двух–трех нейтронов. Этот процесс описывается неравенством:

$${}^A_ZM > {}^{A_1}_{Z_1}M + {}^{A_2}_{Z_2}M, \text{ причем, } A_1 + A_2 < A; \quad Z_1 + Z_2 = Z$$

Закон радиоактивного распада: число атомов (dN), распадающихся за бесконечно малый промежуток времени (dt), пропорционально числу атомов N в момент времени t :

$$dN = \lambda N dt$$

Коэффициент пропорциональности (λ) –, носит название *постоянной распада* и характеризует вероятность распада за единицу времени

Скорость, с которой распадаются радиоактивные ядра, зависит от их числа в данный момент времени и выражаются соотношением:

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Скорость радиоактивного распада называют активностью вещества ($\frac{dN}{dt} = A$ или $A = \lambda N$). Иначе говоря, **активность** – мера количества радиоактивного вещества, выражаемая числом радиоактивных превращений в единицу времени.

Распад радиоактивных изотопов представляет собой экспоненциальную зависимость и описывается уравнением:

$$A_t = A_0 \times e^{-\lambda t},$$

где A_t и A_0 - активность образца в момент времени t и в начальный момент ($t = 0$); e - основание натурального логарифма (2,7183); λ - постоянная распада; $e^{-\lambda t}$ - поправка на радиоактивный распад.

Период полураспада ($T_{1/2}$) – время, в течение которого количество ядер данного радионуклида в результате самопроизвольных ядерных превращений уменьшается в два раза. Эта величина обратно пропорциональна постоянной распада (λ) и выражается в единицах времени:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}, \text{ где } 0,693 = \ln 2.$$

В течение первого периода полураспада распадается $\frac{1}{2}$ часть от первоначального числа ядер изотопа N_0 . В течение второго периода распадается половина от оставшейся половины ядер и т.д. В конце n -го

периода полураспада остается $\frac{N_0}{2^n}$ ядер исходного изотопа.

Для оценки стабильности радионуклидов вводят понятие *среднего времени жизни* (τ) радионуклида:

$$\tau = 1/\lambda.$$

Период полураспада и среднее время жизни связаны соотношением:

$$T_{1/2} = (\ln 2) \cdot \tau = 0,693 \cdot \tau$$

Процесс радиоактивного превращения элементов всегда сопровождается выбросом элементарных частиц. Это могут быть как заряженные частицы (альфа-, бета-частицы, протоны), нейтральные частицы (нейтроны, нейтрино), так и гамма кванты различных энергий. Все они при прохождении через вещество оказывают на него ионизирующее действие.

При взаимодействии ионизирующего **электромагнитного излучения** с веществом имеют место: *фото-эффект, эффект Кóмптона, возникновение электронно-позитронных пар*. При малых энергиях γ -

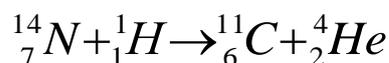
квантов (до 100 кэВ) в материалах с большим Z основную роль играет фото-эффект, при средних (100 кэВ – 1,02 МэВ) – Комптон-эффект, а при энергиях более 1,02 МэВ – эффект образования электронно-позитронных пар. Наряду с процессом образования пар происходит их аннигиляция с образованием двух гамма-квантов.

Гамма-кванты с энергией, превышающей несколько МэВ, могут выбивать протоны из стабильных ядер, т. е., вызывать *ядерные реакции*.

При всех трех видах взаимодействия γ -излучения с веществом образуются быстрые электроны, которые приводят к ионизации атомов и молекул среды. Важным отличием рентгеновского и гамма-излучения от других видов излучений является равномерная ионизация вещества.

При ядерных реакциях происходит изменение состава ядер атомов химических элементов. С помощью ядерных реакций из атомов одних элементов можно получить атомы других элементов. Превращения атомных ядер записывают в виде уравнений ядерных реакции. Суммы массовых чисел и алгебраические суммы зарядов частиц в левой и правой части уравнения должны быть равны.

Пример. Изотоп углерода ^{11}C образуется при бомбардировке протонами ядер атомов ^{14}N . Уравнение этой ядерной реакции:



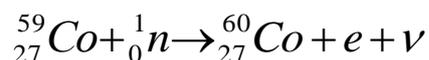
Сокращенная форма записи: $^{14}\text{N} (p, \alpha) ^{11}\text{C}$. В скобках на первом месте пишут бомбардирующую частицу, а на втором, через запятую, – частицу, образующуюся в данном процессе. В сокращенных уравнениях частицы ${}^4_2\text{He}$, ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{D}$, ${}^1_0\text{n}$ обозначают соответственно α , p , d , n .

Корпускулярное излучение. Наибольшей ионизирующей способностью обладают сравнительно большие *альфа-частицы*. Средняя плотность ионизации ими воздуха составляет около 30 000 пар ионов на 1 см пути пробега. Пролетая через вещество, альфа-частицы постепенно теряют свою энергию, затрачивая ее на ионизацию вещества. Причем в начале пути, когда энергия альфа-частиц велика, удельная ионизация меньше, чем в конце пути.

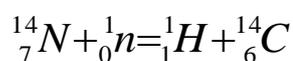
Ионизирующая способность *бета-частиц* значительно меньше (в среднем в 100 раз), но проникающая способность их во столько же раз выше, чем у альфа-частиц. Путь, проходимый бета-частицей в веществе представляет собой не прямую линию, как у альфа-частиц, а ломаную. Взаимодействуя с веществом среды бета-частицы проходят вблизи ядер. В поле положительно заряженного ядра отрицательно заряженная бета-частица резко тормозится и теряет при этом часть своей энергии. Эта энергия излучается в виде тормозного рентгеновского излучения. С

увеличением энергии бета-частиц и атомного номера вещества интенсивность рентгеновского излучения возрастает.

Нейтроны имеют нулевой заряд и поэтому не взаимодействуют с электронной оболочкой атакуемых атомов и могут проникать вглубь их. Проникающая способность нейтронов велика, они могут либо поглощаться атомами, либо рассеиваться на них. Процесс радиационного захвата нейтронов ядром используется в технике для получения искусственных радиоактивных нуклидов, например, кобальта-60:



В атмосфере под действием нейтронов, присутствующих в космическом излучении протекает реакция образования радиоактивного углерода ${}^{14}\text{C}$, имеющего период полураспада 5730 лет:



По содержанию радиоуглерода в останках организмов можно определить их возраст.

Заряженные частицы, постепенно теряя энергию и скорость, вызывают неравномерную ионизацию вещества. На глубину проникновения ионизирующего излучения влияет состав и плотность облучаемого вещества. Чем выше его плотность, тем меньше глубина проникновения излучения. Зная *линейный коэффициент ослабления* (ослабление излучения в слое вещества толщиной 1 см), нетрудно рассчитать толщину материала для биологической защиты.

Число пар ионов, возникающих на единице пути частицы или фотона в веществе, называют линейной плотностью ионизации (ЛПИ) или удельной ионизацией. Самая высокая ЛПИ у альфа-частиц. В воздухе, пробегая до 10 см, альфа частица в расчете на 1 см образует несколько десятков тысяч пар ионов, а бета-частица, пробегая 25 см, – 50–100 пар ионов. Гамма и рентгеновские лучи в воздухе образуют несколько пар ионов (до 10) на 1 см пути при пробеге несколько сотен метров.

Таким образом, рентгеновские, гамма-лучи и β -частицы, имеющие энергию излучения до 3 МэВ, являются редко ионизирующим излучением, нейтроны, протоны и α -частицы, имеющие энергию излучения до 10 МэВ, являются плотно ионизирующим излучением.

Линейная передача энергии (ЛПЭ) – количество энергии, теряемой на единице длины пробега частицы. Самая высокая ЛПЭ у альфа-частиц, затем в порядке убывания следуют бета-частицы, рентгеновское и гамма-излучение. Эта величина важна в проявлении радиобиологических реакций организма.

Г) разнице между массовым числом и номером элемента.

13. Масса атома практически равна:

А) разнице между массовым и зарядовым числом;

Б) массе протонов;

В) сумме масс протонов и нейтронов;

Д) массе нейтронов.

14. Наименьшую массу имеет:

А) протон;

Б) электрон;

В) нейтрон.

15. Протон:

А) не имеет заряда;

Б) имеет положительный заряд;

В) имеет отрицательный заряд.

16. Ядро атома

А) не имеет заряда;

Б) имеет отрицательный заряд;

В) имеет положительный заряд.

17. α – частицы:

А) имеют отрицательный заряд.

Б) не имеют заряда;

В) имеют положительный заряд;

18. Заряд ядра любого атома зависит от:

А) числа нейтронов;

Б) числа нуклонов;

В) числа электронов;

Г) числа протонов.

19. В ядре изотопа азота ${}^{15}_7\text{N}$.

А) число протонов – 15, число нейтронов – 7, число нуклонов – 8;

Б) число протонов – 15, число нейтронов – 8, число нуклонов – 7;

В) число протонов – 15, число нейтронов – 7, число нуклонов – 8;

Г) число протонов – 7, число нейтронов – 8, число нуклонов – 15.

20. β^- - излучение – это поток:

А) орбитальных электронов;

Б) электромагнитных волн;

В) позитронов, испускаемых ядром;

Г) электронов, испускаемых ядром;

21. β^+ - излучение – это поток:

А) орбитальных электронов;

Б) электромагнитных волн;

В) позитронов, испускаемых ядром

Г) электронов, испускаемых ядром;

22. Изотопы – это атомы, ядра которых имеют:

- А) одинаковое число протонов, но разное число нейтронов;
- Б) одинаковые массовые числа, но разные зарядовые числа;
- В) одинаковое число нейтронов, но разное число протонов;
- Г) одинаковые числа протонов и нейтронов и их суммы, но разную способность к радиоактивности.

23. Изобары – это атомы, ядра которых имеют:

- А) одинаковое число протонов, но разное число нейтронов;
- Б) одинаковые массовые числа, но разное число протонов;
- В) одинаковое число нейтронов, но разное число протонов;
- Г) одинаковые числа протонов и нейтронов и их суммы, но разную способность к радиоактивности.

24. Изотоны – это атомы, ядра которых имеют:

- А) одинаковое число протонов, но разное число нейтронов;
- Б) одинаковые массовые числа, но разные заряды;
- В) одинаковое число нейтронов, но разное число протонов;
- Г) одинаковые числа протонов и нейтронов и их суммы, но разную способность к радиоактивности.

25. Изомеры – это атомы, ядра которых имеют:

- А) одинаковое число протонов, но разное число нейтронов;
- Б) одинаковые массовые числа, но разные заряды;
- В) одинаковое число нейтронов, но разное число протонов;
- Г) одинаковые числа протонов и нейтронов и их суммы, но разную способность к радиоактивности.

26. α -частицы представляют собой:

- А) позитроны;
- Б) электромагнитное излучение.
- В) ядра атомов гелия;
- Г) ядра атомов водорода;

27. При превращении в ядре протона в нейтрон образуется:

- А) электрон и антинейтрино;
- Б) позитрон и нейтрино;
- В) электрон и позитрон;
- Г) альфа-частица.

28. При превращении в ядре нейтрона в протон образуется:

- А) электрон и антинейтрино;
- Б) позитрон и нейтрино;
- В) электрон и позитрон;

г) альфа-частица.

29. При α - распаде:

- А) заряд ядра и массовое число уменьшается;
- Б) заряд ядра уменьшается, а массовое число не меняется;
- В) заряд ядра повышается, а массовое число не меняется;
- Г) заряд ядра и массовое число не меняется.

30. При электронном β -распаде:

- А) заряд ядра понижается, массовое число остается неизменным;
- Б) заряд ядра повышается, массовое число остается неизменным;
- В) заряд ядра и массовое число понижается;
- Г) заряд ядра и массовое число не меняется.

31. При позитронном β -распаде:

- А) заряд ядра и массовое число не меняется;
- Б) заряд ядра и массовое число понижается;
- В) заряд ядра понижается, массовое число остается неизменным;
- Г) заряд ядра повышается, массовое число остается неизменным.

32. При электронном β - распаде зарядовое число:

- А) повышается на единицу;
- Б) уменьшается на единицу;
- В) остается неизменным.

33. При позитронном β - распаде зарядовое число:

- А) повышается на единицу;
- Б) уменьшается на единицу;
- В) остается неизменным.

34. При любом β - распаде массовое число:

- А) повышается на единицу;
- Б) уменьшается на единицу;
- В) остается неизменным.

35. Масса и заряд ядра атома уменьшается:

- А) при альфа-распаде;
- Б) при бета-распаде;
- В) при гамма-излучении.

36. Зарядовое число уменьшается на единицу, а массовое число не меняется при:

- А) α -распаде;
- Б) β^- -распаде;
- В) β^+ -распаде;
- Г) γ -распаде.

А) $A = \frac{dN}{dt}$; Б) $A = \lambda N$; В) $A_t = A_o \times e^{-\lambda t}$.

44. Связь между постоянной распада и периодом полураспада характеризует уравнение:

А) $A = \lambda N$; Б) $dN = \lambda N dt$; В) $T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$.

45. Активность объекта на момент времени t при известной начальной активности можно определить по формуле:

А) $A = \frac{dN}{dt}$; Б) $A = \lambda N$;
В) $A_t = A_o \times e^{-\lambda t}$; Г) $dN = \lambda N dt$.

46. Минимальная длина пробега y :

- А) α – частиц; Б) β -частиц;
В) γ -квантов.

47. Наибольшую проникающую способность имеет:

- А) α - излучение; Б) β - излучение; В) γ - излучение.

48. Линейная плотность ионизации наибольшая у:

- А) α - излучения; Б) β - излучения; В) γ - излучения.

49. При внутреннем облучении наибольшую опасность представляет:

- А) α - излучение; Б) β - излучение; В) γ - излучение.

50. При внешнем облучении человека наибольшую опасность представляет:

- А) α - излучение Б) β - излучение В) γ - излучение

51. С ростом линейной передачи энергии относительный биологический эффект излучения:

- А) повышается; Б) снижается; В) зависимость отсутствует.

52. Зависимость между коэффициентом ослабления и энергией гамма-излучения:

- А) прямая пропорциональная;
Б) обратно пропорциональная;
В) зависимость отсутствует.

53. Под линейной передачей энергии понимают:

- А) ослабление излучения в слое вещества толщиной 1 см;

- Б) число пар ионов, возникающих на единице пути частицы или фотона в веществе;
- В) количество энергии, теряемой на единице длины пробега;
- Г) дозу испытываемого излучения вызывающую такой же радиобиологический эффект как и доза стандартного излучения.

54. Под относительной биологической эффективностью излучения (ОБЭ) или коэффициентом качества понимают:

- А) ослабление излучения в слое вещества толщиной 1 см;
- Б) число пар ионов, возникающих на единице пути частицы или фотона в веществе;
- В) количество энергии, теряемой на единице длины пробега;
- Г) дозу испытываемого излучения вызывающую такой же радиобиологический эффект как и доза стандартного излучения.

55. Под линейной плотностью ионизации (ЛПИ) или удельной ионизацией понимают:

- А) ослабление излучения в слое вещества толщиной 1 см;
- Б) число пар ионов, возникающих на единице пути частицы или фотона в веществе;
- В) количество энергии, теряемой на единице длины пробега;
- Г) дозу испытываемого излучения вызывающую такой же радиобиологический эффект как и доза стандартного излучения.

56. Под линейным коэффициентом ослабления понимают:

- А) ослабление излучения в слое вещества толщиной 1 см ;
- Б) число пар ионов, возникающих на единице пути частицы или фотона в веществе;
- В) количество энергии, теряемой на единице длины пробега;
- Г) доза испытываемого излучения вызывающая такой же радиобиологический эффект как и доза стандартного излучения.

57. С ростом линейной плотности ионизации относительная биологическая эффективность излучения (ОБЭ):

- А) уменьшается;
- Б) увеличивается;
- В) не изменяется.

58. При взаимодействии с веществом электромагнитного излучения с энергией квантов до 100 КэВ имеет место:

- А) фотоэффект;
- Б) эффект Комптона;
- В) возникновение электронно-позитронных пар.

59. При взаимодействии с веществом электромагнитного излучения с энергией квантов 100 КэВ – 1,02 МэВ имеет место:

- А) фотоэффект;
- Б) эффект Комптона;

74. При альфа-распаде зарядовое число _____, массовое число _____
75. При электронном бета-распаде зарядовое число _____
76. При позитронном бета-распаде зарядовое число _____
77. При бета-распаде массовое число _____
78. Напишите реакцию α - распада ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ _____
79. Напишите реакцию электронного β - распада ${}^{14}_6\text{C}$ _____
80. Напишите уравнение, характеризующее закон радиоактивного распада: _____
81. Напишите формулу для определения постоянной радиоактивного распада _____
82. Напишите уравнение для определения исходной активности радиоактивного вещества, если известна его активность в момент времени t . _____
83. Постоянная распада характеризует _____
84. Напишите формулу для определения периода полураспада при известной постоянной распада _____
85. Завершите реакцию β^- - распада: ${}^{32}_{15}\text{P} \rightarrow$ _____
86. Напишите реакцию α - распада ${}^{216}_{84}\text{Po} \rightarrow$ _____
87. Напишите реакцию α - распада ${}^{230}_{90}\text{Th} \rightarrow$ _____
88. Наибольшую проникающую способность имеет _____ излучение.
89. Линейная плотность ионизации наибольшая у _____ излучения.
90. Линейная плотность ионизации – это _____
91. Под относительной биологической эффективностью (ОБЭ) излучения понимают _____

92. Под линейным коэффициентом ослабления понимают _____

93. При взаимодействии ионизирующего излучения с веществом имеют место следующие эффекты: _____

НАЙДИТЕ СООТВЕТСТВИЕ:

94. Тип ядер

- 1) Изомеры
- 2) Изотоны
- 3) Изобары
- 4) Изотопы

Ядра имеют:

- а) одинаковое число протонов, но разное число нейтронов
- б) одинаковые массовые числа, но разные зарядовые числа
- в) одинаковое число нейтронов, но разное число протонов
- г) одинаковые числа протонов и нейтронов и их суммы, но разную способность к радиоактивности

95. Излучение

- 1) альфа-излучение
- 2) бэ́та-излучение
- 3) гамма- излучение
- 4) рентгеновское излучение

Материал, обеспечивающий защиту

- а) бетон
- б) свинец
- в) алюминий
- г) бумага

96. Энергия электромагнитного излучения

- 1) до 100 КэВ;
- 2) 100 КэВ – 1,02 МэВ;
- 3) более 1,02 МэВ;
- 4) несколько МэВ

Вызываемый эффект

- а) эффект Комптона;
- б) фотоэффект;
- в) ядерные реакции
- г) возникновение электронно позитронных пар.

97. Излучение

- 1) альфа- излучение
- 2) бэ́та- излучение
- 3) гамма- и рентгеновское излучение

Характеристика

- а) имеет самую высокую проникающую способность;
- б) имеет самую высокую плотность ионизации;
- в) коэффициент качества равен
- г) имеет самый короткий пробег

98. Лучи

Характеристика

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1) альфа-лучи | а) имеют самый короткий пробег |
| 2) бэ́та-лучи | б) коэффициент качества равен 20 |
| 3) гамма- и рентгеновские лучи | в) имеют самую низкую плотность ионизации |
| | г) могут нести положительный и отрицательный заряд |

99. Излучение

Характеристика

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| 1) альфа-излучение | а) является электромагнитным |
| 2) β^+ -излучение | б) является корпускулярным |
| 3) гамма-излучение | в) несет положительный заряд |
| | г) не имеет заряда |

100. Излучение

Характеристика

- | | |
|-------------------------|---|
| 1) нейтронное | а) может проникать внутрь ядер атомов; |
| 2) электромагнитное | б) является вторичным излучением |
| 3) тормозное | в) не относится к корпускулярному излучению; |
| 4) β^- -излучение | г) способно вызывать фотоэффект, эффект Комптона, образование электронно-позитронных пар, ядерные реакции |
| | д) относится к корпускулярному излучению |

РАСПОЛОЖИТЕ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ:

101. Расположите следующие изотопы в порядке уменьшения их активности при одинаковых количествах:

- | | |
|--|----------------------------------|
| А) ^{131}I (8,05 сут.); | Б) ^{32}P (14,3 сут.) |
| В) ^{40}K ($1,3 \times 10^9$ лет); | Г) ^{239}Pu (24390 лет) |
| Д) ^{14}C (5500 лет); | Е) ^{137}Cs (30 лет); |

102. Расположите следующие изотопы в порядке уменьшения продолжительности воздействия на объекты:

- | | |
|---|----------------------------------|
| А) ^{131}I (8,05 сут.); | Б) ^{137}Cs (30 лет); |
| В) ^{40}K ($1,3 \cdot 10^9$ лет); | Г) ^{239}Pu (24390 лет) |
| Д) ^{14}C (5500 лет); | Е) ^{32}P (14,3 сут.) |

103. Расположите радиоизотопы в порядке увеличения продолжительности их жизни:

- | | |
|-----------------|--------------|
| А) стронций -90 | Б) цезий-139 |
| В) йод-131 | Г) калий-40 |

104. Расположите ионизирующие излучения в порядке уменьшения линейной передачи энергии:

- А) γ -излучение; Б) α -частицы;
В) β -частицы; Г) рентгеновское излучение.

105. Расположите ионизирующие излучения в порядке увеличения их относительной биологической эффективности:

- А) γ -излучение, рентгеновское излучение, β – частицы;
Б) α -излучение;
В) нейтроны, протоны.

106. Расположите ионизирующие излучения в порядке возрастания вызываемой ими плотности ионизации вещества:

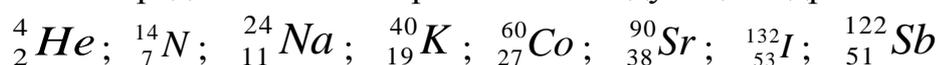
- А) γ -излучение;
Б) α -излучение;
В) β -излучение.

107. Расположите ионизирующие излучения в порядке повышения проникающей способности:

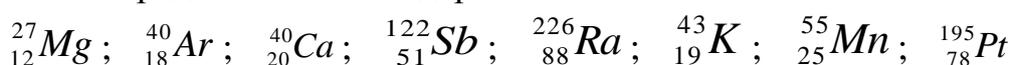
- А) γ -излучение;
Б) α -излучение;
В) β -излучение.

ОПРЕДЕЛИТЕ:

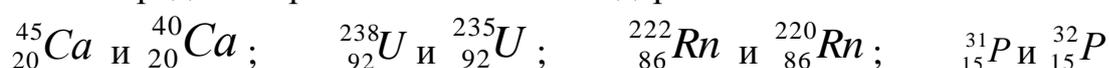
108. Определите число протонов в следующих ядрах изотопов:



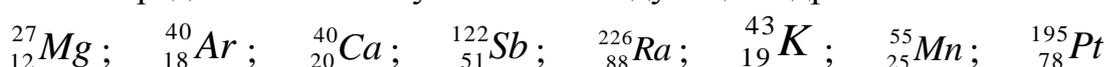
109. Определите состав ядер атомов:



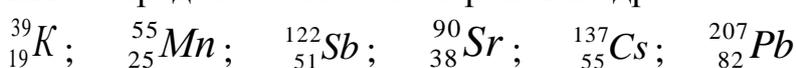
110. Определите различия в составе ядер изотопов:



111. Определите число нуклонов в следующих ядрах:



112. Определите число нейтронов в ядрах:



113. Определите изотопы химических элементов, имеющих зарядовое число Z , равное 11, 15, 24 и 92.

114. Определите радионуклиды, имеющие массовое число, равное 3, 10, 14 и 32 .

115. По значениям массового (M) и зарядового (Z) чисел определите радионуклиды:

А) $M = 38, Z = 17$;

Б) $M = 58, Z = 27$;

В) $M = 88, Z = 37$;

Г) $M = 133, Z = 53$.

116. Определите значение постоянной распада λ для следующих радионуклидов, если известен их период полураспада:

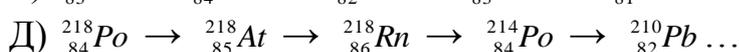
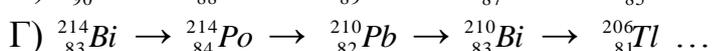
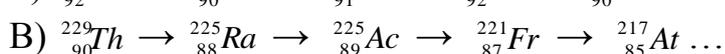
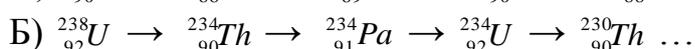
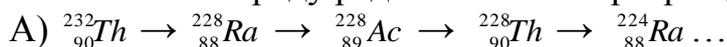
А) ^{22}Na (2,6 года) и ^{24}Na (15 ч);

Б) ^{226}Ra (1620 лет) и ^{223}Ra (11,69 сут.);

В) ^{222}Rn (3,83 сут) и ^{220}Rn (51,5 с);

Г) ^{58}Co (70,8 сут.) и ^{60}Co (5,271 лет)

117. Укажите радиоактивные распады (α - распад или β^- -распад), которые имеют место в ряду радиоактивных превращений:



118. Определите заряд Z и массовое число A изотопов, которые образуются из:

А) $^{232}_{90}\text{Th}$ после трех альфа- и двух бета-распадов;

Б) $^{234}_{91}\text{Pa}$ после трех бета- и двух альфа-распадов;

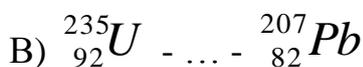
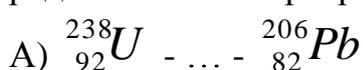
В) $^{234}_{92}\text{U}$ после пяти альфа- и одного бета-распада;

Г) $^{224}_{88}\text{Ra}$ после четырех бета- и одного альфа-распада;

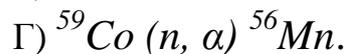
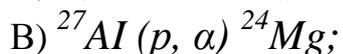
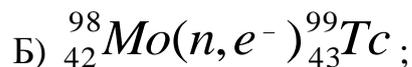
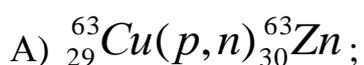
Д) $^{214}_{82}\text{Pb}$ после двух бета- и трех альфа-распадов;

Е) $^{227}_{90}\text{Th}$ после двух бета- и трех альфа-распадов.

119. Определите, сколько β^- - и α - распадов происходит в ряду радиоактивных превращений:



120. Исходя из сокращенных уравнений ядерных реакций, напишите их полные уравнения:



121. Укажите, одинаковый ли период полураспада у двух образцов следующих ядер:

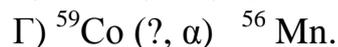
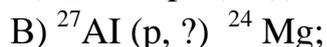
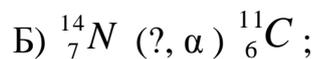
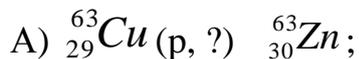


122. При бомбардировке ядер атомов бора ${}_{5}^{10}\text{B}$ нейтронами был получен изотоп лития ${}_{3}^{7}\text{Li}$. Определите промежуточное ядро и выброшенную частицу. Напишите уравнение реакции.

123. В результате бомбардировки изотопа неона ${}_{10}^{21}\text{Ne}$ некоторыми частицами образуется фтор и α -частица. Определите бомбардирующую частицу.

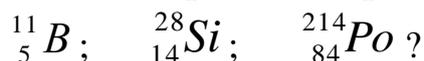
124. При действии α -частиц на ${}_{12}^{24}\text{Mg}$ образуется неустойчивый изотоп другого элемента и электрон. Составьте уравнение этой ядерной реакции.

125. Определите недостающую частицу в сокращенных уравнениях ядерных реакций и напишите их полные уравнения:

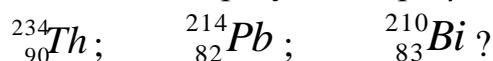


126. При бомбардировке протонами ядер: а) изотопа ${}_{10}^{21}\text{Ne}$ образуется 2 α -частицы; б) изотопа ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ - нейтрон. Изотопы каких химических элементов образовались? Составьте уравнения ядерных реакций.

127. Какие химические элементы образуются при α -распаде ядер атомов:



128. Какие химические элементы образуются при β^{-} -распаде ядер атомов:



2. ОСАЖДЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ НА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ И ВКЛЮЧЕНИЕ В БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ. ДОЗИМЕТРИЯ

Различают локальные и глобальные выпадения радионуклидов после взрыва.. Крупные радиоактивные частицы под действием силы тяжести довольно быстро (в течение 10–20 часов) оседают на расстоянии до нескольких сотен километров от эпицентра взрыва, создавая местное (локальное) загрязнение. Такие выпадения называют *локальными*.

Часть радионуклидов попадает в тропосферу и стратосферу. Осадки, выпавшие из тропосферы и стратосферы, приводят к глобальному загрязнению и их называют *глобальными выпадениями*. Они оседают на поверхность земли в течение от двух месяцев после взрыва (тропосферные) до двух–трех лет (стратосферные). За это время средне- и короткоживущие изотопы успевают распасться, и основное загрязнение формируют долгоживущие изотопы ^{90}Sr (28 лет), ^{137}Cs (30 лет).

Стронций-90 в основном закрепляется в почве по типу ионного обмена, как и кальций, а цезий-137 – кроме того, фиксируется необменно в кристаллических решетках глинистых минералов. По разным оценкам доля прочносвязанного цезия в загрязненных почвах составляет 76–98% от общего его содержания.

На поведение радионуклидов в почве влияет:

- *кислотность почвы* (при нейтральной реакции среды радионуклиды в почве закрепляются прочнее);
- *емкость поглощения почв, состав обменных катионов и содержание их в почвенном растворе* (повышение концентрации кальция снижает размеры обменного поглощения почвой ^{90}Sr , а калия – ^{137}Cs);
- *содержание органического вещества* (чем больше в почве гумуса, тем прочнее фиксация радионуклидов; самое прочное их закрепление отмечается в черноземах в силу их нейтральной реакции и высокого содержания гумуса);
- *гранулометрический и минералогический состав почв* (тяжелые почвы прочнее удерживают радионуклиды, чем легкие).

Размеры внутрипрофильной миграции радионуклидов невелики. На песчаных почвах следует ожидать продвижения радионуклидов на большую глубину, чем на суглинистых почвах. При механической обработке почв радионуклиды перемещаются на значительную глубину, и становится возможным проникновение их в подпахотный горизонт почвы.

Выпавшие на поверхность почвы радиоактивные вещества включаются в биологический цикл естественного круговорота веществ и по трофическим цепям доходят до организма человека. Основной вклад в поглощенную дозу вносят γ -излучение (у животных и человека) и β -излучение (у растений).

Перенос по пищевым цепям происходит очень быстро (в течение нескольких суток). Загрязненные растения – главный источник

поступления радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных. С растительной и животной пищей они поступают в организм человека, при этом до 50% радионуклидов – с растительной пищей. Из животной пищи основной вклад в дозовую нагрузку дает молоко.

Различают некорневое (аэральное) и корневое поступление радионуклидов в растения.

Степень удерживания радиоактивных частиц растениями при аэральном загрязнении характеризуется величиной *коэффициента первичного удерживания*, который представляет собой отношение количества осевших на растения радиоактивных частиц к общему их количеству, выпавшему из атмосферы. Он может изменяться от нескольких процентов до 95 %.

Первичное удерживание радиоактивных частиц зависит от плотности растительного покрова, морфологии растений, размеров и агрегатного состояния радиоактивных частиц, метеорологических условий в момент выпадения радиоактивных осадков, урожайности надземной биомассы в период их выпадения.

Зерно кукурузы, бобовых культур, клубни картофеля, подземная часть корнеплодов надежно защищены от загрязнения радиоактивными осадками аэральным путем.

Снижение радиоактивности загрязненных растений, обусловленное всеми факторами, кроме радиоактивного распада радионуклидов, принято называть *полевыми потерями*.

По аналогии с периодом полураспада введено понятие *периода полупотери* – время, в течение которого активность загрязненных растений снижается в два раза.

Концентрация радиоактивных веществ в созревшей растительной массе растений бывает наиболее низкой при загрязнении их в ранние фазы развития, так как длительность полевых потерь в этом случае наибольшая. С точки зрения опасности получения загрязненной радионуклидами продукции при аэральном загрязнении злаковых культур критическими являются периоды колошения, цветения, молочной спелости.

Стронций-90 метаболически менее активен, чем цезий-137 и йод-131. Он слабо передвигается внутрь растения при попадании на листья (как и его химический аналог кальций). Поэтому концентрация стронция в листьях больше, чем в зерне, клубнях, корнеплодах, стеблях. По этой причине не загрязняется зерно культур с закрытыми семенами (гороха, кукурузы), клубни картофеля, корнеплоды, которые защищены почвой от попадания непосредственно на них радиоактивных осадков. Вместе с тем, попадание стронция-90 на овощные культуры – очень опасно, так как плоды этих культур не защищены (томаты, огурец, капуста, листовые овощи).

Цезий-137 интенсивно перемещается в ткани растений через лист и накапливается в урожае (как калий). Йод-131 тоже интенсивно передвигается по растению при аэральном загрязнении, затем с кормом

попадает в молоко и далее – в организм человека. При коротком периоде полураспада (8,05 суток) йод имеет очень высокую активность и вклад в общую дозу облучения в первые недели после выпадения.

^{90}Sr и ^{137}Cs имеют высокую подвижность в почве и легко переходят в растения. Поведение этих радиоизотопов в системе почва–растение различно и имеет много общего с поведением их химических аналогов – кальция и калия. Переход ^{90}Sr из почвы в растения почти в 10 раз превосходит переход ^{137}Cs (кроме торфяных и малоплодородных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава, где переход ^{137}Cs в растения имеет преимущество перед ^{90}Sr).

На поступление в растения радиоизотопов стронция и цезия большое влияние оказывает содержание гумуса, гранулометрический состав, степень увлажнения почв, наличие в почве достаточного количества питательных элементов (для ^{137}Cs – особенно калия, для ^{90}Sr – кальция).

В целом наиболее высокие уровни загрязнения растений наблюдаются на дерново-подзолистых почвах, особенно легкого гранулометрического состава, самые низкие – на черноземах.

Лесные насаждения сильнее реагируют на ионизирующие излучения, чем травы, что связано с более высокой удерживающей способностью радиоактивных выпадений древесной растительностью и более медленным (в 10–25 раз) очищением ее от радионуклидов.

Наблюдается определенное сходство в поступлении ^{137}Cs и ^{90}Sr и их химических аналогов – калия и кальция. Максимальная концентрация ^{90}Sr всегда обнаруживается у видов растений и в органах животных, богатых кальцием (растения-кальциефилы – бобовые, представители семейства розоцветных и лютиковых; костная ткань животных, скорлупа яиц, раковины моллюсков). Максимальная концентрация ^{137}Cs – в растениях-калиефилах (овощной перец, картофель, свекла, капуста, кукуруза, овес, виноград) и мышечной ткани млекопитающих.

Распределение радионуклидов в надземных органах растений показывает, что *чем дальше от корня находится орган по транспортной цепи, тем меньше он накапливает радионуклидов*. Поэтому зерно – самая чистая продукция, клубни, корнеплоды, луковицы – более загрязненные.

Мерой аккумуляции радиоактивных веществ в организме служит **коэффициент накопления (КН)**, представляющий собой отношение их содержания в организме к содержанию в окружающей среде:

$$\text{КН} = \frac{\text{содержание радионуклида в 1 кг сухой растительной массы}}{\text{содержание радионуклида в 1 кг сухой почвы}},$$

Таким образом, радионуклиды поступают в растения двумя путями:

1 – после прямого загрязнения оседающими радиоактивными частицами (аэральное, некорневое поступление);

2 – через корневую систему из почвы (корневое поступление).

Эти пути поступления следует отличать друг от друга, так как:

- при одной и той же плотности радиоактивного загрязнения территории при некорневом поступлении загрязненность растений радионуклидами оказывается большей, чем при корневом;

- поступление радионуклидов в растения через надземные органы в основном возможно лишь в период выпадения радиоактивных частиц, тогда как их поступление через корневую систему может продолжаться длительное время;

- степень радиоактивного загрязнения разных частей растений может существенно изменяться в зависимости от пути поступления радионуклидов и места их депонирования. Так, для злаков, овощей вероятность загрязнения урожая при некорневом поступлении радионуклидов выше, чем при корневом; для корне- и клубнеплодов, наоборот, загрязнение продукции выше при корневом поступлении.

Различают три возможных пути попадания радионуклидов внутрь организма человека и животных: с пищей, через дыхательные пути, через повреждения на коже. Основной путь – оральным с пищей (кормами) и водой. При пастбищном содержании животных определенное количество радионуклидов может поступать в организм с частичками земли и дернины. Поступление радионуклидов через органы дыхания бывает значительным лишь в период выпадения радиоактивных осадков.

Большую опасность представляют продукты питания и корма, содержащие изотопы плутония и америция, которые обладают альфа-активностью. Альфа излучение имеет высокую степень ионизации и, следовательно, поражающую способность для биологических тканей.

Попавшие в кровь радионуклиды, разносятся по организму и избирательно концентрируются в определенных органах. Радиоактивные изотопы кальция, стронция, бария, радия, плутония, урана распределяются в организме по скелетному типу. Радионуклиды калия, натрия, цезия, рубидия, водорода, азота, углерода, полония распределяются по диффузному типу более или менее равномерно. Спецификой обмена ^{131}I является концентрирование его в щитовидной железе.

Отложение ^{90}Sr в организме животных зависит от уровня содержания кальция в рационе. Насыщение рациона кальцием позволяет снизить накопление ^{90}Sr в скелете примерно в 2–4 раза. Концентрация ^{90}Sr в сале, внутреннем жире, как правило, в несколько раз ниже, чем в мышечной ткани, а в мышцах и субпродуктах – в сотни раз ниже, чем в костной ткани. После перевода животных на «чистые» корма содержание ^{90}Sr быстрее снижается в мягких тканях, чем в скелете.

^{137}Cs равномерно распределяется по организму и сравнительно быстро выводится из него.

Для характеристики интенсивности выведения радионуклидов из организма человека и животных используют показатель **период эффективного полувыведения** ($T_{эфф}$), обозначающий время, в течение

которого активность снижается вдвое за счет процессов метаболизма и физического распада радионуклидов.

Существует понятие **биологический период полувыведения** (T_6) – время, в течение которого активность объекта снижается вдвое в результате процессов метаболизма.

Проникшие в организм животных (человека) и зафиксированные в его органах и тканях радиоактивных вещества называют **инкорпорированными**. Инкорпорированные радионуклиды имеют особенности по лучевому поражению (внутреннему облучению):

- они избирательно накапливаются в отдельных органах и тканях (например, до 30% йода-131 депонируется в щитовидной железе, составляющей лишь 0,02–0,05% массы тела, где он входит в состав гормона тироксина; почти весь стронций-90 сосредоточивается в скелете, облучая костный мозг, ^{137}Cs закрепляется в основном в мягких тканях);

- опасность воздействия α - и β -излучателей при внутреннем облучении несоизмеримо выше, чем при внешнем (особенно это касается α -излучателей, биологический эффект воздействия α -излучений в 100 раз выше, чем β -излучений, и в 10000 раз выше, чем γ -квантов);

- инкорпорированные радионуклиды обеспечивают длительные сроки облучения организма, особенно долгоживущие (под действием ^{137}Cs и ^{90}Sr организм подвергается хроническому облучению практически всю жизнь; ^{131}I – 1,5–2 месяца);

- трудно обеспечить защиту от внутреннего облучения с помощью каких-либо противолучевых средств, эффективных при внешнем облучении.

Определенная часть радионуклидов, попавших в организм животных, переходит в продукцию животноводства. Так как терапевтические средства выведения радионуклидов из организма практически не эффективны, то основным путем защиты от инкорпорированных радионуклидов является предотвращение их поступления в организм на этапах почва – растение и растение – животное. Первому из них отводится особая роль.

При оценке степени радиоактивного загрязнения местности и объектов внешней среды используют **единицы радиоактивности**. Единицей активности радиоактивного вещества в международной системе СИ является **беккерель**, Бк (один распад в секунду). Внесистемная единица измерения активности – **кюри** (Ки). Чаще применяют милликюри ($1\text{мКи} = 10^{-3}\text{ Ки}$), микрокюри ($1\text{мкКи} = 10^{-6}\text{ Ки}$). Для перевода активности из одних единиц в другие используют следующее соотношение: $1\text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{ Бк}$ или $1\text{ Бк} = 27 \cdot 10^{-12}\text{ Ки} = 27\text{ пКи}$.

Плотность радиоактивного загрязнения территории выражают в **Ки/км²**. При плотности загрязнения почвы 1 Ки/км^2 (37 кБк/м^2) на квадратном метре каждую секунду происходит распад 37000 атомов

Степень загрязнения радиоактивными веществами продуктов питания, воды, воздуха выражают в единицах активности в расчете на

единицу массы (*пКи/кг, мкКи/кг, кБк/кг* и т.п.) или на единицу объема (*пКи/м³, пКи/л, кБк/л* и т.п.). Для характеристики миграции ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs по пищевым цепям часто используют так называемые **стронциевые единицы** (1 с. е. = 1 пКи ⁹⁰Sr/1 г Са) и **цезиевые единицы** (1 ц. е. = 1 пКи ¹³⁷Cs/1 г К).

При переходе радионуклида из одного звена миграционной цепи в другое отношение между ним и его химическим аналогом может изменяться, проявляется так называемая **дискриминация**. Для оценки переноса радиоактивного элемента относительно его химического аналога используют **коэффициент дискриминации**, который *показывает изменение соотношения радионуклида и его химического аналога (цезиевых и стронциевых единиц) при миграции по биологическим цепям, который определяется по формулам:*

$$KД_{Cs137} = \frac{C_{Cs137} / C_K \text{ растение}}{C_{Cs137} / C_K \text{ почва}}$$

$$KД_{Sr90} = \frac{C_{Sr90} / C_{Ca} \text{ растение}}{C_{Sr90} / C_{Ca} \text{ почва}}$$

где С – концентрация цезия-137, стронция-90 или калия и кальция в почве и растении.

Дискриминация цезия по отношению к калию наиболее значима в цепи почва–растение, дискриминация стронция по отношению к кальцию наиболее значима в цепи корм – животное.

Степень опасности поражения людей определяется **дозой** излучения, т.е. энергией, переданной организму излучением. Повреждение живого организма, вызванное излучением, будут тем сильнее, чем больше энергии излучения передано тканям.

Следует различать энергию излучения, падающую на объект и энергию излучения, поглощенную объектом. В связи с этим различают *экспозиционную дозу, поглощенную*, которая вызывает радиобиологические эффекты, и *эквивалентную дозу*, которую используют при облучении разными видами ионизирующих излучений.

В международной системе СИ единицей **экспозиционной дозы** является **1 кулон на килограмм (Кл/кг)**. Внесистемной единицей является **рентген (Р)**, (1 Кл/кг = 3876 Р). Рентген – единица экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучения, при прохождении которого через 0,001239 г воздуха (масса 1 см³ при нормальных условиях) образуется 2,08 × 10⁹ пар ионов.

Поглощающая способность объекта может сильно меняться в зависимости от энергии излучения, ее вида, интенсивности, свойств поглощающего объекта. За единицу **поглощенной дозы** в системе СИ принят **грей (Гр)** - 1 Дж/кг вещества. Внесистемная единица – **рад (radiation absorbed dose)** (1 Гр = 1 Дж/кг = 100 рад; 1 рад = 100 эрг/г = 10⁻²

Гр). Часто используют понятие интегральной дозы, т.е. энергии, суммарно поглощенной во всем объеме объекта. Интегральная доза измеряется в **Джоулях** ($1 \text{ Гр} \times \text{кг} = 1 \text{ Дж}$)

При одинаковой поглощенной дозе в тканях организма биологическое воздействие различных видов излучения отличается, так как они имеют разную относительную биологическую эффективность (ОБЭ) или коэффициенты качества (величина ОБЭ альфа-излучения в 20, а бета-излучения – в 10 раз больше, чем рентгеновского или гамма-излучения). Это значит, что при попадании внутрь организма α -частицы в 20 раз опаснее, чем γ -излучение. Для учета биологической эффективности различных излучений в радиобиологии введено понятие **эквивалентная доза**.

Эквивалентную дозу определяют умножением поглощенной дозы данного вида ионизирующего излучения на соответствующий коэффициент качества излучения (k).

В системе СИ единицей измерения **эквивалентной дозы** излучения служит **зиверт (Зв)**, несистемной единицей является **биологический эквивалент рентгена (бэр)**. $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$; $1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$. В практике используют дольные единицы миллибэр ($1 \text{ мбэр} = 10^{-3} \text{ бэр}$) микробэр ($1 \text{ мкбэр} = 10^{-6} \text{ бэр}$), нанобэр ($1 \text{ нбэр} = 10^{-9} \text{ бэр}$).

Полезно помнить, что экспозиционной дозе в 100 Р в случае γ -излучения соответствует эквивалентная доза в 1 Зв.

Так как чувствительность разных частей (органов, тканей) тела не одинакова, то дозы их облучения следует учитывать с разными коэффициентами радиационного риска (табл. 1).

Таблица 1 - Коэффициенты радиационного риска

Органы и ткани	Коэффициент радиационного риска
Гонады	0,20
Красный костный мозг, легкие, желудок, толстый кишечник	0,12
Костная ткань	0,03
Щитовидная железа, мочевой пузырь, грудная железа, печень, пищевод	0,05
Кожа	0,01
Остальное	0,05
Организм в целом	1,00

Умножив эквивалентную дозу на соответствующие коэффициенты и просуммировав их по всем органам и тканям, получим **эффективно-эквивалентную дозу**, отражающую суммарный эффект облучения для организма. Она также измеряется в зивертах.

Основные дозиметрические единицы приведены в приложении 2.

В соответствии с международной нормой радиационной безопасности, допустимой эффективной дозой облучения является 0,1 Бэр в год, что равно 1 мЗв в год. Таким образом, за жизнь человека предельная доза накопления составляет 7 Бэр или 70 мЗв.

Важной дозиметрической величиной является **мощность дозы**, которая характеризует дозу ионизирующего излучения в единицу времени. Мощность эквивалентной дозы – **Зв/с, бэр/с**; мощность экспозиционной дозы – **Р/с, Кл/кг/с**; мощность поглощенной дозы – **рад/с, Гр/с**. Используют и производные указанных единиц мощности: миллибэр в час (1мбэр/ч); микробэр в час (мкбэр/ч); рентген в час (Р/ч); миллирентген в час (мР/ч); микрорентген в час (мкР/ч).

В зависимости от мощности дозы различают острое и хроническое облучение.

Острое облучение – это кратковременное облучение в течение нескольких секунд, минут, реже – часов при высокой мощности дозы (10–100 Гр в минуту, час).

Хроническое облучение – продолжительное облучение в течение нескольких десятков часов, суток, недель, лет при низкой мощности дозы (доли Гр в час)

Доза хронического облучения может в 3–6 и более раз превышать дозу острого облучения при одинаковом биологическом действии.

Различают также облучение *однократное и многократное (фракционированное)*. При фракционированном облучении эффективность зависит от числа фракций дозы и продолжительности интервалов между ними. С их увеличением эффективность уменьшается, так как наблюдается восстановление (репарация) структур клеток, организма. Это подтверждает существование процессов пострадиационного восстановления повреждений в живых организмах.

Пределы поступления радионуклидов с пищей составляют:

для ^{90}Sr – $3,6 \cdot 10^4$ Бк/год (100 Бк/сут);

для ^{137}Cs – $7,7 \cdot 10^4$ Бк/год (210 Бк/сут).

В зависимости от вида излучения, величины дозы, способа облучения можно наблюдать разные реакции организма на излучение – от ускорения роста и развития до его гибели.

27. Коэффициент накопления – это:

А) отношение количества осевших на растения радиоактивных частиц к общему их количеству, выпавшему из атмосферы на данную почву;

Б) изменение соотношения радионуклида и его химического аналога (цезиевых и стронциевых единиц) при миграции по биологическим цепям;

В) отношение содержания радионуклида в единице растительной массы к содержанию его в единице массы почвы или единице объема раствора.

28. Под коэффициентом перехода радионуклидов в системе почва-растение понимают:

А) изменение соотношения радионуклида и его химического аналога (цезиевых и стронциевых единиц) при миграции по биологическим цепям;

Б) отношение концентрации радионуклидов в растении к концентрации их в почве;

В) отношение концентрации радионуклидов в золе растений к концентрации их в почве;

Г) активность единицы массы растений в расчете на единицу плотности загрязнения территории, $(\text{Бк/кг})/(\text{Ки/км}^2)$

29. Период эффективного полувыведения – это:

А) время, в течение которого активность поверхностно загрязненных растений снижается в два раза под действием всех факторов, кроме радиоактивного распада радионуклидов;

Б) время, в течение которого активность накопленного организмом животного или человека радиоактивного вещества снижается вдвое;

В) время, в течение которого содержание радионуклида в животном организме уменьшится вдвое в результате процессов метаболизма;

Г) время, в течение которого активность радионуклида снижается вдвое в результате процессов его распада.

30. Период полевых полупотерь – это:

А) время, в течение которого активность поверхностно загрязненных растений снижается в два раза под действием всех факторов, кроме радиоактивного распада радионуклидов;

Б) время, в течение которого активность накопленного организмом животного или человека радиоактивного вещества снижается вдвое;

В) время, в течение которого содержание радионуклида в животном организме уменьшится вдвое в результате процессов метаболизма;

Г) время, в течение которого активность радионуклида снижается вдвое в результате процессов его распада.

31. Период биологического полувыведения – это:

А) время, в течение которого активность поверхностно загрязненных растений снижается в два раза под действием всех факторов, кроме радиоактивного распада радионуклидов;

47. Более длительным воздействием на организм обладает облучение:

- А) внутреннее;
- Б) внешнее;
- В) внутреннее и внешнее – одинаково.

ДОПОЛНИТЕ:

48. Единицы измерения экспозиционной дозы: _____ и _____

49. Единицы измерения поглощенной дозы: _____ и _____

50. Единицы измерения эквивалентной дозы: _____ и _____

51. Единицами измерения мощности экспозиционной дозы являются: _____ и _____

52. Единицами измерения мощности эквивалентной дозы являются _____ и _____

53. Единицами измерения мощности поглощенной дозы являются _____ и _____

54. Активность радиоактивного вещества измеряется _____ и в _____

55. Единицей измерения плотности радиоактивного загрязнения территории является _____

56. Степень загрязнения радиоактивными веществами продуктов питания измеряется в _____, воды и воздуха - _____

57. Внешнее облучение отличается от внутреннего тем, что: _____

58. Инкорпорированные радионуклиды – это: _____

59. Локальные выпадения – это выпадения _____ частиц, которые оседают на расстоянии _____ от _____, время выпадений составляет: _____

60. Глобальные выпадения – это выпадения из _____, загрязняется территория _____, выпадение осадков происходит в течение _____

61. В глобальных выпадениях находятся изотопы (по продолжительности жизни): _____
62. Локальные выпадения характеризуются наличием изотопов (по продолжительности жизни) _____.
63. Поглощенная доза измеряется в _____ и в _____; мощность экспозиционной дозы измеряется в _____ и в _____
64. Хроническое облучение – это: _____;
острое облучение – это: _____
65. Наибольший вклад в дозу земной радиации вносят следующие естественные радионуклиды: _____
66. Зная поглощенную дозу данного вида ионизирующего излучения, эквивалентную дозу определяют путем: _____
67. Под коэффициентом первичного удерживания радионуклидов растениями понимают: _____
68. Под коэффициентом дискриминации понимают: _____
69. Коэффициент накопления показывает: _____
70. Период полувыведения радионуклидов из организма это: _____
71. Период биологического полувыведения радионуклидов это: _____
72. Под периодом полевых полупотерь понимают: _____
73. Период полураспада радионуклида это: _____
74. Мокрые выпадения радионуклидов удерживаются растениями _____, чем сухие.
75. Сухие выпадения радионуклидов удерживаются растениями _____, чем мокрые.
76. Чем дальше по транспортной цепи находится орган, тем _____ он накапливает радионуклидов.
77. При одной и той же плотности загрязнения территории радионуклидами при некорневом поступлении растения накапливают их в значительно _____ количествах, чем при корневом поступлении.

78. При одной и той же плотности загрязнения территории радионуклидами растения при корневом поступлении накапливают их в значительно _____ количествах, чем при некорневом поступлении.

79. Альфа- и бета-излучение в _____ степени опасно при внутреннем облучении, чем при внешнем.

80. Альфа- и бета-излучение в _____ степени опасно при внешнем облучении, чем при внутреннем.

81. На снижение размеров перехода ^{90}Sr из почвы в растения наибольшее влияние оказывает наличие в почве достаточного количества _____

82. На снижение размеров перехода ^{137}Cs из почвы в растения наибольшее влияние оказывает наличие в почве достаточного количества _____

83. При корневом поступлении радионуклидов меньше загрязняется следующая продукция растениеводства _____

84. Меньше всего аэральным путем загрязняется зерно _____

85. В организме животных и человека ^{137}Cs накапливается в _____.

86. В организме животных и человека ^{90}Sr концентрируется главным образом в _____ ткани.

87. В организме животных и человека ^{131}I депонируется преимущественно в _____.

88. Приборы для измерения активности радионуклидов называются _____

89. Приборы для измерения дозы и мощности ионизирующих излучений называются _____

90. Под внешним облучением понимают _____

91. Под внутренним облучением понимают _____

92. В процессе внутреннего облучения человек получает около _____ % годовой эффективной эквивалентной дозы радиации.

93. Наиболее чувствительными к радиационному поражению являются следующие органы животных (критические органы): _____

94. Наиболее чувствительными к радиационному поражению являются следующие ткани растений (критические органы): _____

95. Наибольший вклад в поглощенную эффективную дозу у животных и человека вносит _____ излучение.

96. Основной вклад в поглощенную дозу у растений вносит _____ излучение.

НАЙДИТЕ СООТВЕТСТВИЕ:

97. Местонахождение частиц и характер осадков	Загрязнения
1) крупные радиоактивные частицы в атмосфере	а) локальные;
2) тропосферные осадки	б) глобальные.
3) стратосферные осадки	

98. Путь поступления радионуклидов	Характер поглощения растениями
1) аэральный	а) избирательное;
2) корневой	б) не избирательное.

99. Доза	Единицы измерения
1) экспозиционная	а) Рад, Гр;
2) поглощенная	б) Зв, бэр;
3) эквивалентная	в) Кл/кг, Р;
	г) Гр/с; Рад/с.

100. Мощность дозы	Единицы измерения
1) мощность экспозиционной дозы	а) Зв/с, бэр/с;
2) мощность поглощенной дозы	б) Рад/с, Гр/с;
3) мощность эквивалентной дозы	в) Кл/кг/с, Р/с;
	г) Кл/кг, Р.

101. Радионуклид	Локализация в курином яйце
1) ^{137}Cs	а) скорлупа;
2) ^{90}Sr	б) желток;
3) ^{131}I	в) белок;
	г) равномерно по всему яйцу.

102. Показатель

Содержание

- | | |
|------------------------------|--|
| 1) коэффициент накопления | а) отношение стронциевых (цезиевых) единиц в системе акцептор- донор |
| 2) коэффициент дискриминации | б) отношение содержания радионуклидов в организме к содержанию их в окружающей среде; |
| 3) коэффициент перехода; | в) отношение активности радионуклида в растении к плотности загрязнения им почвы; |
| 4) коэффициент качества | г) отношение дозы стандартного излучения к дозе испытываемого, вызывающей такой же радиобиологический эффект |

3. РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗМОВ. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.

Радиочувствительность различных организмов очень широко колеблется. Малая доза для одних организмов может оказаться смертельной для других.

По отношению к малым дозам принято говорить о радиочувствительности, а к высоким – о радиоустойчивости, выражая их показателями LD_{50} , LD_{70} , LD_{100} (летальная доза для 50, 70 и 100% облученных особей).

Для растений семейства лилейных LD_{50} составляет не более 1 Гр, для бактерий и вирусов – десятки тысяч грей. Лилия является самой радиочувствительной из растений (в состоянии вегетации), за ней следуют сосна и ель. Наибольшее количество данных о радиочувствительности растений в состоянии семян.

Среди высших растений максимальной радиоустойчивостью характеризуются растения семейства капустных. LD_{50} для семян редьки, редиса, брюквы в 50–150 раз выше, чем для семян самых радиочувствительных видов. Высокой радиоустойчивостью обладают семена льна, горчицы, донника.

В фазе проростка радиочувствительность растений возрастает в 15–20 раз, и остается на этом уровне до конца их вегетации (с некоторыми колебаниями).

Радиочувствительность разных сортов одного и того же вида растения может различаться в 2–5 раз.

Живой организм очень чувствителен к действию ионизирующей радиации. Чем выше на эволюционной лестнице стоит живой организм, тем он более радиочувствителен. Из всего многообразия организмов наиболее радиочувствительными являются млекопитающие. Молодые особи более чувствительны к радиации, чем взрослые.

Если человек перенес общее облучение дозой 1–2 Гр, то у него спустя несколько дней появятся признаки лучевой болезни в легкой форме. Средняя степень тяжести лучевой болезни с летальным исходом у 20% облученных наблюдается у лиц, получивших дозу 2,5–3,5 Гр. При получении дозы 4–6 Гр развивается тяжелая форма лучевой болезни. Летальный исход болезни 50%. Очень тяжелая форма лучевой болезни со 100%-ным летальным исходом возникает при получении дозы 6 Гр.

Из позвоночных у птиц радиоустойчивость более высокая, чем у млекопитающих. Из пресмыкающихся наиболее радиочувствительны черепахи (LD_{50} – 15–20 Гр), наиболее радиоустойчивы – змеи (LD_{50} – 80–200 Гр).

Беспозвоночные характеризуются еще более высокой устойчивостью к радиации. У насекомых LD_{50} составляет 50–300 Гр, LD_{100} – 100–500, иногда 1000 Гр. Радиоустойчивость насекомых растет в направлении: яйцо – куколка – взрослая особь.

Самые радиоустойчивые организмы – микроорганизмы – бактерии и вирусы. ДЛ₅₀ для большинства бактерий составляет 300–2000 Гр, для вирусов – 4000–7000 Гр в репродуктивном состоянии, а в период покоя – еще выше. Но существуют еще более устойчивые к радиации организмы – низшие растения: некоторые виды сине-зеленых водорослей, мхи, лишайники.

Почвенная микрофлора обычно не страдает при дозах, губительных для высших растений и животных. Это наиболее устойчивый к облучению компонент биогеоценоза.

Знание радиочувствительности и радиоустойчивости насекомых и микроорганизмов необходимо для подбора доз радиации, предназначенных для обеззараживания материалов, консервации продуктов растениеводства и животноводства. В отдельных случаях эти дозы достигают 20–25 тыс. Гр.

Для фитоценозов более опасным является хроническое облучение, а не острое, так как, действуя на растения в течение ряда поколений, оно приводит к суммированию отклонений в развитии того или иного вида.

После острого облучения фитоценоз может быстро восстановиться. Повреждающие дозы при остром облучении ниже, чем при хроническом облучении.

В агрофитоценозе малейшее подавление роста культурных растений может привести к усилению роста сорняков. И наоборот, стимуляция роста культуры – к подавлению роста сорняков. Это может наблюдаться даже при малых дозах облучения.

Выделяют две группы факторов, от которых зависит радиочувствительность организмов: структурные и функциональные.

К структурным факторам относится объем ядер и хромосом, число хромосом, ploидность.

К функциональным факторам относится функциональное состояние отдельных структур клетки, физиологическое состояние клетки, этап онтогенеза, содержание различных нативных соединений (антиоксидантов, макроэргов, физиологически активных веществ и др.), способность к пострadiационному восстановлению, физиологические ритмы.

Виды растений с меньшим объемом ядра, как правило, отличаются более высокой радиоустойчивостью. Более тесная связь установлена между радиочувствительностью растений и объемом хромосом: *чем меньше объем хромосомы, тем ниже радиочувствительность.* При одном и том же объеме ядра, но разном числе хромосом различна и радиочувствительность: *вид с бóльшим числом хромосом – более устойчив.* Здесь играет роль величина объема ядра в расчете на одну хромосому: чем она меньше, тем выше устойчивость.

Полиплоидные виды более устойчивы к радиационному поражению, чем диплоидные.

Существует корреляция между радиочувствительностью и содержанием в семенах и растениях жира и ненасыщенных жирных

кислот, аскорбиновой кислоты, ауксинов, сульфгидрильных соединений. Очень важна способность организма к пострадиационному восстановлению.

Наиболее повреждаемыми являются клетки, находящиеся в состоянии деления.

В 1906 г. французские ученые Бергонье и Трибондо сформулировали один из важнейших принципов радиобиологии, имеющий силу закона: ***чувствительность клеток к излучению прямо пропорциональна их способности делиться и обратно пропорциональна степени их дифференциации.***

При хроническом облучении проявляется обратная зависимость: чем выше скорость роста, тем меньше угнетаются растения, так как быстро делящиеся клетки за время одного клеточного цикла накапливают меньшую дозу и повреждаются, следовательно, слабее. Поэтому любой фактор, увеличивающий продолжительность митоза или мейоза в период облучения сублетальными дозами, усиливает радиационное поражение.

Повреждения в структуре и функциях ДНК являются основной причиной возникновения радиобиологических эффектов (морфологических изменений, лучевой болезни, генетических изменений, гибели и др.).

Синтез ДНК является очень радиочувствительным процессом. Причина этого – в повреждении его структуры, возникновении «ошибок» при передаче информации и в других последствиях, порой фатальных для организма.

Синтез РНК – сравнительно радиоустойчивый процесс (но для разных РНК – неодинаковый).

Высокой радиоустойчивостью обладает *синтез* большинства белков и ферментов. Подавляющее большинство белков более радиоустойчивы, чем нуклеиновые кислоты.

Под критическими органами понимают жизненно важные органы или системы, первыми выходящие из строя при облучении, что обуславливает гибель организма в определенные сроки после облучения.

Для животных – это кроветворные (в т. ч. костный мозг), эпителий ЖКТ, эндотелий сосудов, хрусталик глаза, половые железы и некоторые другие. Для растений – меристемы и генеративные органы.

В процессе роста и развития растений их радиочувствительность существенно меняется. Наиболее чувствительными являются меристематические и эмбриональные ткани.

Наиболее чувствительными периодами растений являются период прорастания семян и переход растений от вегетативного к генеративному развитию, когда закладываются органы плодоношения. В это время наиболее высока интенсивность клеточного деления, метаболическая активность. Наиболее устойчивыми к радиации являются период созревания и период физиологического покоя семян.

Для злаковых уязвимыми для радиации фазами развития являются фазы кущения, выхода в трубку, колошения; для зерновых бобовых – бутонизации; капусты, свеклы, моркови – появление всходов.

Этапы радиационного воздействия на биологические объекты можно резюмировать следующим образом: поглощение энергии (физический этап) → образование свободных радикалов (химический этап) → первичное действие облучений (прямое и косвенное) → биомолекулярные повреждения (изменение белков, липидов и др.) → биологические изменения (гибель клеток и др. – биологический этап) → физиологические изменения (нарушение функций и др.).

Эффекты воздействия ионизирующих излучений могут длиться от долей секунды до столетий. Их разделяют на *соматические*, которые возникают в организме, непосредственно подвергшемся облучению, и *генетические*, проявляющиеся у его потомков.

Соматические проявления радиационного поражения могут носить характер острого и хронического поражения. Это *радиационная стимуляция, морфологические изменения, лучевая болезнь, сокращение продолжительности жизни, гибель*.

Генетические (мутагенные) эффекты - *хромосомные aberrации, генные мутации*, которые приводят к наследственным заболеваниям.

Мутагенные эффекты радиации используются в сельскохозяйственном производстве в области радиационного мутагенеза, благодаря которому внедрено более 1000 сортов культурных растений.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

НАЙДИТЕ ПРАВИЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ:

1. Укажите наиболее радиочувствительные растения (несколько ответов):

- | | |
|-------------|-----------|
| А) пшеница; | Б) сосна; |
| В) редис; | Г) лилия. |

2. Укажите наиболее радиочувствительные организмы:

- | | |
|--------------------|-------------------------------|
| А) растения; | Б) насекомые, микроорганизмы; |
| В) пресмыкающиеся; | Г) млекопитающие. |

3. Укажите наиболее радиочувствительный процесс в клетке:

- | | |
|----------------------|----------------|
| А) синтез РНК; | Б) синтез ДНК; |
| В) синтез ферментов; | Г) фотосинтез; |

14. Очищение надземной массы деревьев по сравнению с травянистой растительностью проходит:

А) быстрее; Б) медленнее; В) с одинаковой скоростью.

15. Укажите древесную породу, которая накапливает больше радионуклидов при корневом поступлении:

А) сосна;
Б) лиственница;
В) ель.

16. Вид с ббльшим числом хромосом:

А) более устойчив к радиации;
Б) менее устойчив к радиации;
В) зависимость отсутствует.

17. Полиплоидные виды организмов по сравнению с диплоидными к радиации:

А) более устойчивы; Б) менее устойчивы;
В) одинаково устойчивы; Г) одинаково неустойчивы.

18. Диплоидные виды организмов по сравнению с полиплоидными к радиации:

А) более устойчивы; Б) менее устойчивы;
В) одинаково устойчивы; Г) одинаково неустойчивы.

19. Наибольшее количество ^{90}Sr способны накапливать следующие культуры:

А) бобовые; Б) зерновые; В) овощные.

20. Наибольшее количество ^{137}Cs способны накапливать следующие культуры:

А) горох, фасоль;
Б) рожь, пшеница;
В) перец, картофель, капуста, лен.

ДОПОЛНИТЕ:

21. Биологические эффекты ионизирующих излучений делят на _____ и _____

22. Радиационная стимуляция, морфологические изменения, лучевая болезнь, ускорение старения, гибель относятся к _____ эффектам ионизирующих излучений.

23. Аберрации хромосом, генные и геномные мутации относят к _____ эффектам ионизирующих излучений.
24. Соматические эффекты ионизирующих излучений проявляются в виде _____
25. Генетические эффекты ионизирующих излучений проявляются в виде _____
26. Наиболее радиочувствительными организмами являются _____
27. Наиболее радиоустойчивыми организмами являются _____
28. Наиболее радиочувствительными растениями являются _____
29. Наименее радиочувствительной частью лесных фитоценозов является _____
30. Наиболее радиочувствительным процессом в клетке является _____
31. Чем меньше объем ядра, тем, как правило, _____ радиоустойчивость.
32. Чем больше объем ядра, тем, как правило, _____ радиоустойчивость.
33. Чем меньше объем ядра в расчете на одну хромосому, тем _____ радиочувствительность.
34. Чем больше объем ядра в расчете на одну хромосому, тем _____ радиоустойчивость.
35. Чувствительность клеток к излучению _____ пропорциональна их способности делиться и _____ пропорциональна степени их дифференциации.
36. При хроническом облучении, чем выше скорость роста, тем _____ угнетаются растения.
37. Наиболее чувствительными к радиации злаковые растения являются в фазы: _____
38. Наиболее чувствительными к радиации зернобобовые растения являются в фазу _____

39. Наиболее чувствительными к радиации растения картофеля, свеклы, моркови являются в фазу _____

40. Наиболее устойчивые к радиации периоды развития зерновых: _____

НАЙДИТЕ СООТВЕТСТВИЕ

41. Декорпорация радионуклидов

Условия

- 1) более интенсивная
- 2) менее интенсивная

- а) у телят
- б) у кур
- в) ^{90}Sr
- г) ^{127}Cs

42. Культура

Наиболее устойчивый к радиации период развития

- 1) зерновые
- 2) свекла, капуста, морковь
- 3) зернобобовые

- а) цветение и молочная спелость зерна;
- б) кущение и выход в трубку;
- в) физиологический покой семян;
- г) бутонизация;
- д) появление всходов.

43. Культура

Наиболее чувствительный к радиации период развития

- 1) зерновые
- 2) свекла, капуста, морковь
- 3) зернобобовые

- а) цветение и молочная спелость зерна;
- б) кущение и выход в трубку;
- в) физиологический покой семян;
- г) бутонизация;
- д) появление всходов.

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ. ДЕЗАКТИВАЦИЯ ПРОДУКЦИИ

Прогнозирование поступления радионуклидов в растения и животный организм. Дозовые нагрузки на население, проживающее на загрязненной радионуклидами территории, в отдаленный после аварийной ситуации период (два и более лет) складывается из дозы внешнего и внутреннего облучения. Основным источником внешнего облучения является ^{137}Cs (γ -излучатель), а внутреннего - ^{137}Cs и ^{90}Sr , поступающие в организм человека, главным образом, с продуктами питания.

Внешнее облучение формируется под действием γ -излучателей. Главным источником внешнего облучения после Чернобыльской катастрофы является ^{137}Cs , распад которого сопровождается β - и γ -излучениями. Радионуклиды ^{90}Sr и ^{239}Pu не представляют опасности, так как проникающая способность β - и α -излучений невелика.

Для примерного расчета дозы внешнего облучения при известной плотности радиоактивного загрязнения территории (a_s) используют эмпирическую формулу:

$$D_{\text{внешн}} [\text{мкЗв/год}] = 100 \times a_s$$

Так, при плотности загрязнения территории ^{137}Cs в 3 Ки/км^2 $D_{\text{внешн}} = 100 \times 3 = 300 \text{ мкЗв/год}$.

Для прогноза загрязненности сельскохозяйственной продукции необходима как минимум следующая информация:

- уровень радионуклидной загрязненности почв отдельными радионуклидами;
- характеристика почвенного покрова территории (тип почвы, гранулометрический состав, уровень окультуренности);
- направление хозяйственной деятельности сельскохозяйственного предприятия, сведения о структуре посевных площадей, истории полей (обработка почвы, применение удобрений, химических мелиорантов и др.);
- сведения о формировании кормовой базы животноводства, рационах питания животных, пределе допустимого поступления радионуклидов в организм животных с рационом;
- сведения о коэффициентах накопления (КН) или коэффициентах перехода (КП) радионуклидов из почвы в растения и о коэффициентах перехода их из суточного рациона животных в 1 кг (л) продукции животноводства ($\text{КП}_{\text{рац}}$);
- сведения об изменении активности конечного продукта при переработке загрязненного сельскохозяйственного сырья ($\text{K}_{\text{пп}}$).

Уровни загрязнения продукции растениеводства и животноводства сопоставляют с действующими нормативами СанПиН-01 и ВДУ-93 (приложения 10 и 11).

В практике для прогнозной оценки загрязнения продукции растениеводства радионуклидами используют не коэффициенты накопления (КН), а коэффициенты перехода (КП) радионуклидов из почвы в растения (приложение 4, 5), которые численно равны удельной активности растения (a_p) в Бк/кг при уровне поверхностного загрязнения почвы (a_s) в 1 Ку/км²:

$$\text{КП} = a_p/a_s$$

По смыслу этот коэффициент мало отличается от коэффициента накопления, но более удобен в использовании, т.к. чаще имеется информация о плотности поверхностного загрязнения почвы, а не о ее массовой удельной активности (a_n), но при необходимости можно легко перейти от одного показателя к другому: 1 Ку/км²=123 Бк/кг почвы.

Например, для оценки уровня загрязнения радионуклидами зерна (a_p) при известной плотности загрязнения почвы (a_s) проводят следующий расчет:

$$a_p \text{ (Бк/кг)} = \text{КП} \times a_s$$

При переработке сырья часть радионуклидов удаляется с отходами. Для определения загрязненности конечного продукта используют $K_{\text{пп}}$. Так как для зерна $K_{\text{пп}}=0,5$, то загрязненность конечного продукта после переработки снизится в два раза ($a_p \times K_{\text{пп}}$).

Продукция животноводства загрязняется через корм животных. Причем это загрязнение, как правило, выше при аэральном, чем при корневом поступлении радионуклидов в кормовые культуры. Для оценки степени загрязнения продукции животноводства нужна информация о плотности загрязнения почвы кормовых угодий, КП радионуклидов из почвы в растения, суточного рациона животных и коэффициентов перехода радионуклидов из суточного рациона кормов в продукцию животноводства ($\text{КП}_{\text{рац}}$, прил. 16).

Учитывая годовое потребление человеком соответствующих продуктов питания (ГП) и дозовые коэффициенты (K_D) для радионуклидов, которыми они загрязнены, определяют годовую дозовую нагрузку от внутреннего облучения. Для ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs при их поступлении в организм с пищей и водой значения K_D составляют 0,080 и 0,013 мкЗв/Бк соответственно. Более высокое значение K_D для ⁹⁰Sr связано, прежде всего, с его более медленным выведением из организма по сравнению с ¹³⁷Cs.

Кроме продуктов питания радионуклиды попадают внутрь организма и с водой. Современные нормы содержания радионуклидов в питьевой воде составляют для β-излучателей 1 Бк/л (СанПиН-01). При годовом потреблении воды 1000 л, даже если все загрязнение будет представлено ⁹⁰Sr, доза внутреннего облучения не превысит 80 мкЗв/год.

Рассмотрим пример прогнозного расчета содержания радионуклидов в продукции растениеводства и животноводства в условиях плотности поверхностного загрязнения (a_s) дерново-подзолистой легкосугнистой

почвы 3 Ки/км² по ¹³⁷Cs и 1 Ки/км² по ⁹⁰Sr. Используя приложение 4, расчет выполним только для картофеля, молока и мяса крупного рогатого скота (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Пример прогнозного расчета загрязнения радионуклидами продукции животноводства

Радио-нуклид	Суточный рацион животных, СР	СР, кг	КП	$a_p = a_s \cdot КП$, Бк/кг	$C_{сут} = a_p \cdot СР$, Бк
¹³⁷ Cs	Сено многолетних сеяных трав	4	100	300	1200
	Силос кукурузный	20	4	12	240
	Концентраты*	2	5	15	30
⁹⁰ Sr	Сено многолетних сеяных трав	4	1000	1000	4000
	Силос кукурузный	20	250	250	5000
	Концентраты*	2	80	80	160

Радиону-клид	Общее суточное поступление, $\sum A_{сут.}$, Бк	КП _{рац}	Апр = $\sum A_{сут.} \cdot КП_{рац.}$ Бк		
		молоко	мясо	молоко	мясо
¹³⁷ Cs	1440	0,01	0,04	14,4	57,6
⁹⁰ Sr	9160	0,001	0,0006	9	5

* Основу концентрированных кормов составляет зерно ячменя

Таблица 3 – Пример прогнозного расчета доз внутреннего облучения, получаемых за счет потребления картофеля, молока и мяса

Радио-нук-лид	Проду-кт пита-ния	Прогнозное содержание радионук-лида $a_{пр}$, Бк/кг	ГП, кг	$A_{год} = a_{пр} \cdot ГП$, Бк	$D_{внутр} = A_{год} \cdot K_D$, мкЗв/год (K_D ⁹⁰ Sr = 0,08; K_D ¹³⁷ Cs = 0,013 мкЗв/Бк)	Суммарная доза $\sum D_{внутр.}$ за счет 3-х видов продуктов, мкЗв/год
¹³⁷ Cs	Картофель	15	120	1800	23	988
	Молоко	14,4	300	4320	56	
	Мясо	57,6	60	3456	45	
⁹⁰ Sr	Картофель	65	120	7800	624	
	Молоко	9	300	2700	216	
	Мясо	5	60	300	24	

Суммарная допустимая дозовая нагрузка сверх естественного фона в соответствии с НРБ-99/2009 составляет 1000 мкЗв/год (1 мЗв/год). В ней учтено внутреннее и внешнее облучение.

Когда уровни облучения превышают допустимые (1000 мкЗв/год) важно дать оценку структуры дозовых нагрузок, что позволяет не только дать общую ее оценку, но и является основой для выбора и разработки системы мероприятий для снижения отрицательного влияния на население радионуклидного загрязнения территории.

Для этого ставят задачу снижения содержания радионуклидов до допустимых уровней, а в случае невозможности – по перепрофилированию производства. В любом случае требуются мероприятия по максимальной минимизации содержания радионуклидов в продукции, даже если их содержание находится в пределах действующих нормативов.

Таким образом, выбор и целесообразность проведения мероприятий определяются следующими факторами:

- уровнем загрязнения территории и сельскохозяйственной продукции;
- величиной суммарной дозы облучения человека;
- структурой дозовых нагрузок;
- величиной ожидаемого результата от проведения мероприятий;
- экономическими возможностями конкретного хозяйства.

Предотвращение поступления и накопления радиоактивных веществ в продукции и ее дезактивация. Выделяют пять основных комплексных систем снижения поступления радиоактивных веществ в растения, включающих как общепринятые, так и специальные механические, агротехнические, агрохимические, химические и биологические приемы: *обработка почвы; применение удобрений; введение в севооборот новых культур; управление режимами орошения, внесение специальных веществ и соединений.*

Обработка почвы:

- *глубокая заделка загрязненного слоя;*
- *вспашка плантажным плугом с заделкой загрязненного слоя на глубину 60–70 см с последующим окультуриванием вывернутого наверх подпахотного горизонта;*
- *обработка фрезерными машинами или тяжелыми дисковыми орудиями, перепашка отвальными плугами на обычную глубину;*
- *глубокая засыпка верхнего радиоактивного слоя достаточно толстым слоем чистой почвы, смесью почвы с соломой, соломы с глиной.*

Применение удобрений.

При использовании удобрений снижение радиоактивного загрязнения продукции происходит по следующим причинам:

- за счет роста урожайности наблюдается эффект «разбавления» радионуклидов биомассой;
- повышается концентрация в почве обменных катионов, прежде всего кальция и калия;
- усиливается антагонизм между радионуклидами и ионами вносимых солей при корневом питании;
- снижается доступность растениям радионуклидов (переход их в труднодоступные соединения).

Известкование кислых почв. Внесение извести повышает концентрацию ионов кальция в почве и отношение Sr:Ca становится более широким, что затрудняет поступление ^{90}Sr в растения: в картофель в 10–20 раз, сено бобовых – в 6–8, зерно – в 2–4, солому злаков – в 3–4, овощи – в 5–7, ягоды – в 4–6 раз. Содержание ^{137}Cs снижается в меньшей степени или даже возрастает из-за нарушения соотношения Ca:K в пользу кальция и снижения степени обеспеченности растений калием.

Калийные удобрения. Так как калий и цезий являются химическими аналогами, то с повышением запасов калия в среде поступление цезия снижается в 2–20 раз за счет явлений антагонизма ионов K^+ и Cs^+ .

Внесение калийных удобрений особенно необходимо под культуры-калиефилы, которые накапливают больше Cs, чем другие культуры.

Фосфорные удобрения. Фосфорная кислота способна образовывать со стронцием, как и с другими металлами второй группы, нерастворимые соединения. Поэтому, а также за счет повышения урожайности, внесение фосфорных удобрений существенно снижает переход ^{90}Sr из почвы в растения (в 2–20 раз в зависимости от дозы фосфора). Более эффективными оказываются удобрения, содержащие фосфаты кальция и калия.

Азотные удобрения. На загрязненных радионуклидами почвах азотные удобрения следует использовать крайне осторожно. Есть немало данных о повышении на их фоне содержания ^{90}Sr в растениях, особенно при несбалансированном соотношении с фосфорными и калийными удобрениями.

Дозы азотных удобрений определяют с учетом потребности на планируемый урожай и корректируют по результатам почвенно-растительной диагностики. В любом случае в зоне радиоактивного загрязнения почв фосфор и калий должны преобладать над азотом.

Микроудобрения. Влияние микроэлементов на переход радионуклидов из почвы в растения изучено слабо. Исходя из химических свойств, можно предположить, что никель и медь будет препятствовать поступлению в растения ^{137}Cs , а цинк – ^{90}Sr .

Органические удобрения обогащают почву органическим веществом, основаниями, питательными элементами, снижают кислотность почвы, повышают емкость поглощения, микробиологическую активность. Это способствует снижению перехода радионуклидов в растения в 1,5–2 раза.

Дозы органических удобрений рекомендуются те же, что и на незагрязненных радионуклидами почвах. Особенно эффективно сочетание внесения органических удобрений и известкования кислых почв.

Введение в севооборот новых культур. Существует видовая и сортовая специфика поглощения и накопления радионуклидов растениями, поэтому следует обращать внимание на подбор культур в севообороте и выбор сортов возделываемых растений.

Такие кальциефильные растения, как люпин, люцерна, клевер, вика, горох и другие бобовые культуры интенсивно поглощают ^{90}Sr , тогда как злаки, поглощающие кальций в сравнительно небольших количествах, мало накапливают и ^{90}Sr . Калиефильные растения (люпин, кукуруза, капуста, овощной перец, картофель, свекла) интенсивно поглощают ^{137}Cs .

Обычно скороспелые сорта накапливают радионуклидов в 1,6–2 раза больше, чем позднеспелые.

Внесение специальных веществ и соединений. Для снижения перехода радионуклидов из почвы в растения может быть рекомендовано внесение в почву минералов, обладающих высокой сорбционной способностью – *иллиты, вермикулиты, монтмориллониты, каолиниты*.

Снизить поступление радиоактивных веществ в сельскохозяйственные растения и другие живые организмы можно *опрыскиванием почв и растительности растворами специальных химических соединений, образующих на них труднорастворимые в воде полимерные пленки*.

Главным источником поступления радиоактивных веществ в организм животных является корм (более 90%), и вода. Если в выпадениях присутствуют короткоживущие радионуклиды, то необходимо временное прекращение выпаса, а траву использовать для производства сена, силоса, гранул с выдерживанием этой продукции до распада радионуклидов.

Стойлово-выгульное содержание животных по сравнению с пастбищным содержанием уменьшает поступление ^{137}Cs в рацион и молоко в 3–5 раз, в мясо – в 2–3 раза, ^{90}Sr и ^{131}I – в 10 раз. Если нет чистых кормов, возможно голодание животных в течение 4–8 суток.

К сожалению, набор приемов, способствующих уменьшению перехода радионуклидов из рациона животных в продукты животноводства, ограничен. Практически он сводится к двум мероприятиям: *правильному составлению рационов и включению в них добавок и препаратов, препятствующих такому переходу*.

Обогащение рациона кормами, содержащими кальций, например люцерной и другими бобовыми травами, добавление минеральных подкормок в виде углекислых и фосфорнокислых солей кальция является дешевым и доступным средством, препятствующим загрязнению продукции животноводства ^{90}Sr .

Бобовые, кормовые злаковые травы, картофель, все виды свеклы, в том числе и кормовая, кукуруза, подсолнечник содержат кальция больше, чем другие виды кормовых растений.

Обогащение рациона за счет кормов богатых калием будет способствовать снижению накопления в продукции радионуклида ^{137}Cs (бобовые, корнеплоды, злаковые травы, картофель, свекла, кукуруза, подсолнечник).

Известны также препараты, способные снижать переход радиоактивных веществ из корма в ткани животных (*альгинаты натрия, калия, кальция, магния*). Добавление их к рациону животных способно снизить отложение ^{90}Sr в тканях в 1,5–5 раз.

Необычайно высокой эффективностью для ограничения всасывания ^{137}Cs в желудочно-кишечном тракте млекопитающих и уменьшения его накопления в организме обладают *ферроцианиды*. Известно, что при введении их вместе с кормом усвояемость радионуклидов животными снижается в 100–200 раз. Но эти соединения чрезвычайно токсичны и, обладая специфическим вкусом, неохотно поедаются животными.

Снизить поступление радиоактивных веществ в продукцию животноводства можно и разрешив проблему их выведения из организма.

Дезактивация продукции сельского хозяйства. Содержание радионуклидов в продукции животноводства и растениеводства регламентируется санитарными правилами и нормами (СанПиН) (см приложения 10, 11, 12). Всякая технологическая переработка, предусматривающая отделение воды путем отжима, фильтрования, центрифугирования (но не высушивания), будет приводить к дезактивации продукта.

Дезактивация продукции растениеводства. Выделяют три категории приемов обработки продуктов и сырья:

- очистка от поверхностного загрязнения путем споласкивания, промывки, использования щеток и моечных машин;
- удаление наиболее загрязненных частей продукта;
- технологическая переработка в другие продукты, имеющие меньшую концентрацию радионуклидов.

Первые две категории приемов пригодны только при поверхностном загрязнении фруктов, овощей, корне- и клубнеплодов, листовых овощей и др. При корневом загрязнении требуется кулинарная обработка – варка, засолка, консервирование.

Весьма высокой степени очистки можно достичь при переработке загрязненного радиоактивными веществами картофеля на *крахмал*, углеводовсодержащих продуктов растениеводства в *этиловый спирт*, сахарной свеклы – в *сахар*, семян подсолнечника, льна, сои, конопли, хлопчатника, кукурузы и других культур – для *получения растительных масел*. Непригодная для скармливания скоту загрязненная свежая

вегетативная масса растений, может быть использована для прямого получения *пищевого и кормового белка*.

Примерами дезактивации продукции растениеводства с помощью технологических переработок являются технологии выделения *углеводов, ферментов, аминокислот, органических кислот, биологически активных соединений*.

Оставшиеся после извлечения основного продукта высокорadioактивные отходы могут быть использованы для получения этилового спирта, а также как питательные среды для получения кормового белка с помощью микроорганизмов, дрожжей, грибов, обладающих невысокими коэффициентами накопления радиоактивных веществ.

Дезактивацию овощей и фруктов надо начинать с механической очистки их поверхности от земли и промывания в теплой проточной воде. Перед мытьем капусты, лука, чеснока необходимо удалить верхние наиболее загрязненные листья. Более полная дезактивация овощей происходит после варки. Самый «грязный» картофель можно употреблять в пищу, если воду сливать трижды после того, как она закипит. Промывка в проточной воде картофеля, томатов, огурцов снижает степень загрязнения радионуклидами в 5–7 раз, удаление кроющих листьев у капусты – в 40 раз, срезание венчика у корнеплода – в 15–20 раз.

Среди ягод и фруктов меньше содержат радионуклидов яблоки и груши, более загрязненные – красная и черная смородина. Перед употреблением огородные культуры, не требующие кулинарной обработки, следует тщательно мыть под проточной водой, снимая кожуру 3–5 мм. Механическая очистка позволяет удалить 50% радионуклидов, находящихся на поверхности. Засолка овощей и фруктов уменьшает это количество на 30–40%, рассол употреблять нельзя. В процессе варки овощей количество радионуклидов еще больше уменьшается, но необходимо чаще сливать воду.

Дезактивация продукции животноводства. Выпас откормочного скота разрешается на местности, где радиоактивность не превышает 5 Ки/км², но за 1,5–2 месяца до убоя их кормят «чистыми» кормами. Однако, это не всегда гарантирует чистоту мясных продуктов. *В мясе и мясных продуктах* накапливаются радионуклиды цезия и стронция. Цезий накапливается прежде всего мышечной тканью, в почках, печени, сердце, стронций – в костях, особенно молодых. Количество радионуклидов в мясе можно значительно снизить, если провести его дезактивацию одним или несколькими способами. Например, *промывка в проточной воде* уменьшает радиацию в 1,5–3 раза, *вымачивание* в 85% растворе поваренной соли в течение не менее, чем 2-х часов уменьшает радиацию не менее, чем в 3 раза. При этом, чем более измельчено мясо и дольше происходит вымачивание, тем больше радионуклидов уходит из мяса. Но

следует помнить и другое: чем больше времени происходит вымачивание и чаще сливается вода, тем больше теряется питательных веществ.

Эффективным способом дезактивации мяса является *слив отвара* после в варки течение 10 минут. В этом случае радиация уменьшается примерно в 2 раза, а после варки в течение 30–40 минут радиация уменьшается в 3–6 раз. При *засолке и вымачивании* солонины (четырёх разовая обработка со сменой рассола) радиация может быть уменьшена в 100 раз. Кости говядины для приготовления бульонов использовать не рекомендуется.

Перетопка сала сопровождается переходом свыше 95% ^{137}Cs в шквару, в результате чего концентрация его в топленом жире снижается в 20 раз.

Жарение загрязненных радионуклидами мясных продуктов не рекомендуется, так как в готовом блюде концентрация радионуклидов может увеличиться из-за выпаривания жидкости. По этой же причине не рекомендуется вяление и копчение мяса.

Куриное мясо, как правило, достаточно «чистое» и специальной обработки не требует. Если кур кормят относительно чистыми продуктами, но баранина примерно такая же «грязная», как говядина, и ее дезактивация обязательна.

Молочные продукты. Основной радионуклид, аккумулирующийся в молочных продуктах – цезий-137. После *сепарирования цельного коровьего молока* до 90 % радионуклидов остается в сыворотке и обрете. Наиболее безопасный способ пить молоко – разбавлять сливки кипяченой водой. Дальнейшая переработка показывает, что в твороге обезжиренном остается 10% цезия и 12 % стронция, в сливочном масле – 2,5 % цезия и 1,5 % стронция, в топленом масле – 0. Двух-трехкратная *промывка сливок* теплой водой и обезжиренным молоком снижает содержание в них ^{90}Sr еще в 50–100 раз.

Технологический способ заключается в *переработке молока на сливки, сметану, масло, творог, сыр, сухое и сгущенное молоко*. При этом основное количество радионуклидов остается в сыворотке и в пахте. Эта переработка позволяет устранить загрязнение продуктов короткоживущими радионуклидами (^{131}I , ^{89}Sr). В твороге обезжиренном остается 10% ^{137}Cs и 12% ^{90}Sr . Поэтому очевидно, что из загрязненного радиоактивными веществами молока целесообразно получать сливки и масло, особенно топленое.

Для получения казеина, творога и сыра необходимо провести свертывание молока. В этом случае в сыр российский, голландский, костромской переходит до 80 % стронция-90. В случае использования кислотного способа в сыре сохраняется до 80% цезия-137, но стронций практически отсутствует.

Существуют также методы, с помощью которых можно проводить очистку молока от радиоактивных веществ без существенного изменения его химического состава и свойств. Так, *использование пирофосфата*,

связывающего стронций, позволяет в течение суток удалить из молока до 83% ^{90}Sr . Дезактивация молока путем *ионного обмена* и применения *сорбентов* дает коэффициент очистки 100%. Для этого созданы специальные установки.

Электродиализный метод очистки молока удаляет до 90% ^{98}Sr и до 99% ^{137}Cs , а на электродиализной установке с анионо-обменными мембранами может быть удалено 70–90 % ^{131}I .

Чем на более раннем этапе будет решена задача по предотвращению поступления и накопления радиоактивных веществ в продукции сельского хозяйства, тем более эффективной окажется защита человека и его потомков от облучения инкорпорированными радионуклидами.

Рыба. Наибольшее содержание радионуклидов находится в голове и во внутренностях. Свежую рыбу необходимо очистить от чешуи, удалить внутренности, а у донных рыб и хребет. Затем рыбу разрезать на куски и вымочить в течение 10–15 часов, сменяя периодически воду. Этот способ уменьшает загрязненность цезием на 70–75%. Следует помнить, что в рыбе озер радионуклидов больше, чем в рыбе рек. При отварах количество радионуклидов в рыбе уменьшается в 2 раза по сравнению с очищенной. Жареная и особенно вяленая рыба содержит больше радионуклидов, чем отварная.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

НАЙДИТЕ ПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ:

1. При загрязнении почв ^{137}Cs внесение калийных удобрений особенно необходимо под:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| А) культуры – калиефилы; | Б) культуры – кальциефилы; |
| В) хлорофобные культуры; | Г) любые культуры. |

2. При радиоактивном загрязнении почв известкование особенно необходимо при выращивании:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| А) культур – калиефилов; | Б) культур – кальциефилов; |
| В) хлорофобных культур; | Г) любых культур. |

3. При глиновании легких почв накопление радиоактивных веществ в растениях снижается главным образом за счет:

- А) эффекта «разбавления» радионуклидов;
- Б) повышения концентрации в почве обменных катионов;
- В) сорбции радионуклидов минералами.

4. Декорпорация радионуклидов из организма животных происходит интенсивнее (несколько ответов):

- А) у животных с интенсивным обменом веществ;
- Б) у взрослых животных;
- В) у молодых животных;
- Г) при длительном накоплении радионуклидов в организме.

5. Переход ^{137}Cs в молоко и мясо коров снижается при (несколько ответов):

- А) стойловом содержании;
- Б) при содержании на естественным лугах;
- В) при содержании на культурных пастбищах;
- Г) при добавлении в рацион богатых калием кормов.

6. Накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs в продукции животноводства выше при (несколько ответов):

- А) интенсивном типе кормления;
- Б) экстенсивном типе кормления;
- В) дефиците калийного и кальциевого питания;
- Г) при обогащении рациона кормами, содержащими калий и кальций.

7. Наиболее эффективным способом дезактивации мяса является:

- А) жарение;
- Б) вяление;
- В) копчение;
- Г) вываривание.

8. Наиболее опасно потребление мяса:

- А) домашних животных;
- Б) диких животных;
- В) мясо всех животных – опасно;
- Г) мясо всех животных – безопасно.

9. К дезактивации продукта не приводит технологическая переработка, предусматривающая отделение воды путем:

- А) отжима;
- Б) высушивания;
- В) фильтрования;
- Г) центрифугирования.

10. При поверхностном загрязнении фруктов, овощей, корне- и клубнеплодов, листовых овощей используют (несколько ответов):

- А) споласкивание, промывку с использованием щеток и моечных машин;
- Б) удаление наиболее загрязненных частей продукта;
- В) кулинарную переработку в другие продукты;
- Г) технологическую переработку в другие продукты.

11. При загрязнении, полученном растениями в результате корневого поглощения радионуклидов, используют (несколько ответов):

- А) споласкивание, промывку с использованием щеток и моечных машин;
- Б) удаление наиболее загрязненных частей продукта;
- В) кулинарную переработку в другие продукты;
- Г) технологическую переработку в другие продукты.

12. В целях исключения дополнительного поверхностного загрязнения урожая рекомендуется зерновые убирать (несколько ответов):

- А) прямым комбайнированием;
- Б) отдельным комбайнированием;
- В) на низком срезе;
- Г) на высоком срезе.

13. При радиоактивном загрязнении в пищу лучше использовать рыбу (несколько ответов):

- А) пресноводную;
- Б) морскую;
- В) жареную, вяленую;
- Г) отварную;

14. В условиях радиоактивного загрязнения более загрязненной является рыба и продукты ее кулинарной переработки (несколько ответов):

- А) морская;
- Б) пресноводная;
- В) жареная, вяленая;
- Г) отварная.

ДОПОЛНИТЕ

15. Сбор и использование грибов, ягод, лекарственных растений и др. не разрешается при плотности загрязнения _____ Ки/км²

16. При плотности загрязнения леса _____ Ки/км² использование леса не ограничивается

17. Контроль содержания радионуклидов в продукции леса обязателен при плотности его загрязнения _____ Ки/км²

18. Выделяют пять основных комплексных систем снижения поступления радиоактивных веществ в растения _____

19. Для снижения поступления радиоактивных веществ в растения используют следующие приемы обработки почв: _____

20. Для снижения поступления радиоактивных веществ в растения используют следующие удобрения:

21. Известкование кислых почв в большей степени снижает переход в растения радионуклида _____.

22. Внесение калийных удобрений особенно сильно снижает переход в растения радионуклида _____.

3. Внесение фосфорных удобрений заметно снижает переход в растения радионуклида _____, так как _____.

24. При использовании удобрений снижение радиоактивного загрязнения продукции происходит по следующим причинам: _____

25. Глинование легких почв снижает переход в растения радионуклидов цезия и стронция. Это объясняется тем, что _____

26. Для уменьшения перехода радионуклидов из корма и воды в продукты животноводства используют следующие мероприятия: _____

27. Радионуклиды в большем количестве сосредоточены (часть плода): у картофеля – _____ у капусты – _____ у моркови у огурца – _____ у свеклы – _____

28. К дезактивации продукта будет приводить всякая технологическая обработка, предусматривающая отделение воды путем _____

29. Выделяют три категории приемов обработки продуктов и сырья приводящих к снижению содержания радионуклидов: _____

30. Снижение содержания радионуклидов в продукции животноводства возможно за счет: _____

31. Перепрофилирование производства при сильном радиоактивном загрязнении территории может происходить в следующих направлениях: _____

32. Радиопротекторы – это факторы, _____ степень лучевого поражения организма.

33. Радиосенсибилизаторы – это факторы, _____ степень лучевого поражения организма.

34. Под кислородным эффектом понимают явление _____ лучевого поражения при повышении концентрации кислорода в среде по сравнению с анаэробными условиями

35. Под кислородным эффектом понимают явление _____ лучевого поражения при понижении концентрации кислорода в среде.

36. Максимум кислородного эффекта наблюдается при содержании кислорода _____ .

37. Истинные радиопротекторы проявляют радиозащитные свойства при облучении _____ организмов.

38. Специфические радиопротекторы эффективны для _____ организмов.

39. Сильнейшим радиосенсибилизатором является _____

НАЙДИТЕ СООТВЕТСТВИЕ:

40. Типы радиопротекторов

Радиопротектор

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1) истинные радиопротекторы | а) серотонин |
| 2) специфические радиопротекторы | б) сульфгидрильные соединения |
| | в) фитогормоны |
| | г) ионы металлов |
| | д) ингибиторы метаболизма |

41. Периоды развития радиационной ситуации

Характеристика

- | | |
|---------------|-----------------------------------|
| 1) I период | а) корневое загрязнение растений |
| 2) II период | б) аэральное загрязнения растений |
| 3) III период | в) йодная опасность |

42. Периоды развития

Характеристика радиационной ситуации

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1) период йодной опасности | а) первый вегетационный период после выпадений |
| 2) период аэральное загрязнения | б) второй и более поздние вегетационные периоды |
| 3) период корневое загрязнения | в) первые 3–4 месяца после выпадений |

43. Зонирование территории**Мероприятия (контрмеры)**

- | | |
|-------------|--|
| 1) I зона | а) поверхностное улучшение лугов |
| 2) II зона | б) внесение извести и минеральных удобрений |
| 3) III зона | в) использование продукции без ограничений |
| | г) выращивание зерновых на корм скоту, технические и семенные цели |
| | д) возможно перепрофилирование производства |

РАСПОЛОЖИТЕ В ПРАВИЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ:

44. Интенсивность декорпорации радионуклидов снижается в следующем порядке:

- А) скелет; Б) субпродукты; В) мышцы.

45. Расположите мясо по снижению содержания радионуклидов:

- А) свинина; Б) баранина;
В) говядина; Г) мясо птицы.

46. Расположите сельскохозяйственных животных по повышению закрепления ^{90}Sr в их скелете:

- А) куры; Б) свиньи;
В) овцы; Г) КРС

47. Расположите сельскохозяйственных животных по снижению отложения ^{90}Sr в их скелете:

- А) КРС; Б) свиньи;
В) овцы; Г) козы

48. Расположите молочные продукты по снижению содержания в них ^{137}Cs :

- А) сливки; Б) творог, сыр;
В) молоко; Г) сливочное масло;

49. Расположите продукты переработки молока по снижению содержания в них ^{137}Cs :

- А) топленое масло; Б) творог, сыр;
В) сливки; Г) сливочное масло;

50. Расположите мясо по возрастанию содержания в нем радионуклидов:

- А) свежее; Б) копченое; В) отварное; Г) вяленое.

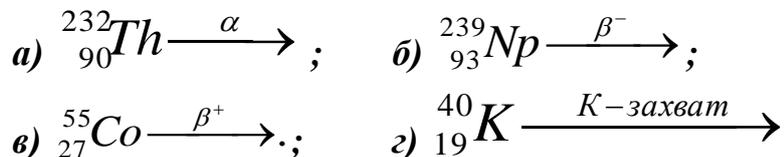
51. Содержание радионуклидов в переработанной рыбе возрастает в последовательности:

- А) вяленая; Б) жареная; В) отварная; Г) тушеная.

5. ЗАДАЧИ

Примеры решения задач

Пример 1. Закончите уравнения реакции радиоактивного распада:



Решение:

Уравнения должны удовлетворять **правилу равенства суммы индексов:**

- сумма массовых чисел частиц, вступающих в реакцию, должна быть равна сумме массовых чисел частиц – продуктов реакции (массы электронов, позитронов и фотонов не учитываются);

- суммы зарядов частиц, вступающих в реакцию и частиц – продуктов реакции должны быть равны между собой.



Пример 2. Период полураспада некоторого радиоактивного изотопа равен 3 часам. Какая масса его останется не распавшейся через 18 часов, если первоначальная масса изотопа составляла 2 г?

Решение: За время хранения радиоактивного изотопа прошло $18/3 = 6$ периодов полураспада ($n = 6$). Отсюда масса не распавшегося изотопа, оставшаяся после 18 часов хранения, равна:

$$M = m_0 \cdot 1/2^n = 200 \cdot 1/2^6 = 2/64 = 31,25 \text{ м г}$$

Ответ: Останется 31,25 мг.

Пример 3. Определить активность (Бк) образца железа, 10 мг которого содержит $10^{-3} \%$ ${}^{212}\text{Pb}$.

Решение. Активность (A) объекта прямо пропорциональна числу радиоактивных атомов (N): $A = \lambda N$, где λ – постоянная распада ($\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$).

Определим массу ${}^{212}\text{Pb}$ в образце: $10 \cdot 10^{-3} : 100 = 10^{-4}$ мг. Далее, используя постоянную Авогадро, определим число атомов ${}^{212}\text{Pb}$ в этой массе:

$$\frac{10^{-4} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{212} = 2,84 \cdot 10^{18}$$

Зная период полураспада ^{212}Pb (10,6 сут.=915840 с), определяем активность образца железа:

$$A = \frac{2,84 \cdot 10^{18} \cdot 0,693}{915840} = 2,15 \cdot 10^{12} \text{ Бк}$$

Ответ: активность образца равна $2,15 \cdot 10^{12}$ Бк

Пример 4. Найти поправку на радиоактивный распад радиоактивного натрия ($T=14,8$ ч) по истечении 4 ч.

Решение: $A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 / e^{0,693 \cdot t/T} = A_0 / K$

Определим, какую часть периода полураспада составляет 4 ч.

$$t/T = 4 : 14,8 = 0,27 \text{ (периода полураспада)}$$

По приложению 15 находим значение поправки K , соответствующее времени $t = 0,27$ периода полураспада. Она равна 1,2.

Ответ: поправка на радиоактивный распад равна 1,2.

Пример 5. Исходная активность препарата ^{86}Br ($T=34$ ч) равна 120 имп./мин. Найти его активность через 26 ч.

Решение: 26 час это 0,76 периода полураспада (26 : 34)

По таблице находим поправку на радиоактивный распад K (1,69), это означает, что к моменту времени $t= 26$ ч активность уменьшилась в 1,69 раза, т. е. стала $1200/1,69 = 710$ имп./мин.

Ответ: Через 26 ч активность препарата соответствовала 710 имп./мин.

Пример 6. При выращивании растений томата внесено 350 мкКи ^{32}P . Сухая масса растений через 45 сут. составила 70 г, а активность 0,2 г растительной массы составила 200 Бк. Период полураспада ^{32}P равен 14,3 сут. Определить коэффициент использования фосфора растениями (%).

Решение: Т.к. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$, то $350 \text{ мкКи} = 1295 \cdot 10^4 \text{ Бк}$

Активность всей сухой массы растений через 45 суток (A_t) равна:

$$A_t = 200 \text{ Бк} : 0,2 \text{ г} \times 70 \text{ г} = 7 \cdot 10^4 \text{ Бк}$$

Учитывая, что в течение 45 суток (t) происходил распад поглощенного радиоактивного фосфора, можно определить исходную его активность (A_0), используя формулу: $A_0 = A_t \times e^{\lambda t} = A_t \times K$.

Значение K находим по приложению 15. Для этого определим, сколько периодов полураспада ^{32}P прошло за 45 сут ($t:T$) = 45:14,3 = 3,15.

Тогда $K = 7,62$.

$$A_0 = 7 \cdot 10^4 \times 7,62 = 53,34 \cdot 10^4 \text{ Бк}$$

Находим A_0 в процентах от внесенного ^{32}P :

$$\frac{53,34 \cdot 10^4 \times 100}{1295 \cdot 10^4} = 4,1\%$$

Ответ: Коэффициент использования фосфора растениями равен 4,1 %.

Пример 7. Сколько β -активного ^{32}P необходимо добавить к 10 г неактивного, чтобы удельная активность препарата стала равной 1 Ки/г? Период полураспада ^{32}P равен 14,3 сут.

Решение: 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Используя формулу: $A = \lambda N$ и выразив 14,3 сут в секундах, находим число радиоактивных атомов (N), которое необходимо добавить к 1 г стабильного фосфора: $N = A/\lambda$

$$N = \frac{3,7 \cdot 10^{10} \times 14,3 \times 24 \times 60 \times 60}{0,693} = 6,6 \cdot 10^{16} \text{ атомов.}$$

Используя массовое число изотопа (M) и постоянную Авогадро (M_A), определяем массу указанного числа атомов ^{32}P :

$$m = \frac{N \times M}{M_A} = \frac{6,6 \cdot 10^{16} \times 32}{6,02 \cdot 10^{23}} = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ г}$$

Следовательно, к 10 г стабильного фосфора необходимо добавить: $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ г } ^{32}\text{P}$.

Ответ: масса ^{32}P равна $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ г}$

Пример 8. Как изменится заряд и массовое число ядра при протекании следующей ядерной реакции: (n ; pn)?

Решение: Нейтрон не имеет заряда, протон – несет один положительный заряд. Массы протона и нейтрона примерно одинаковы. В процессе ядерной реакции при поглощении ядром нейтрона массовое число ядра увеличивается на единицу, зарядовое число – не изменяется.

При испускании ядром одного протона и одного нейтрона зарядовое число ядра уменьшается на единицу, массовое число – на две единицы. В итоге образуется дочернее ядро с массовым числом $(M-1)$ и зарядовым – $(Z-1)$. Получится изотоп химического элемента, стоящего в Периодической системе Д.И. Менделеева на одну клетку левее исходного.

Пример 9. Определить время допустимого нахождения человека на открытой местности в период аварийной ситуации при интенсивности радиационного заражения 1 Зв/час . Предельно допустимая доза радиации – 10 бэр .

Решение: $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$. Отсюда время нахождения на открытой местности: $10 \text{ бэр} : 100 \text{ бэр/час} = 0,1 \text{ часа}$ или 6 минут.

Ответ: 6 минут.

Пример 10. Определить допустимое число 8-часовых смен нахождения человека в поле, если дозовый предел составляет 1000 мкЗв/год , дозовая постоянная – $0,07 \text{ (мкЗв/ч)/(Ки/км}^2\text{)}$, плотность радиоактивного загрязнения территории ^{137}Cs – 10 Ки/км^2 , ^{90}Sr – 4 Ки/км^2 и дозе годового внутреннего облучения 400 мкЗв .

Решение: Основной вклад в поглощенную дозу внешнего облучения человека вносит гамма-излучение. Так как ^{90}Sr является β – излучателем, в формировании дозы внешнего облучения он не учитывается. Число смен (n) определяют исходя из плотности загрязнения территории ^{137}Cs , являющегося гамма-излучателем, по формуле:

$$n = \frac{1000 - 400}{0,07 \times 10 \times 8} = 107 \text{ смен}$$

Ответ: 107 смен.

Пример 11. На рабочем месте имеем радионуклид ^{131}I ($K_\gamma = 2,3 \text{ Р/ч}$) активностью 37 мКи . Какую дозу получит экспериментатор за 2 часа работы, если он находится на расстоянии $0,5 \text{ м}$ от объекта? Предельно допустимая доза (ПД) составляет 17 мР/сут .

Решение: Для точечного источника с активностью A (мКи) доза излучения D (Р), создаваемая за время t (ч) на расстоянии R (см)

определяется по уравнению: $D = \frac{K_\gamma \times A \times t}{R^2}$, где K_γ – гамма-

постоянная, которая устанавливает соотношение между активностью источника и экспозиционной дозой (Р).

$$D = \frac{K\gamma \times A \times t}{R^2} = \frac{2,3 \times 37 \times 2}{50^2} = 0,068R = 68 мР$$

Ответ: За 2 часа экспериментатор получит дозу 68 мР, что в 4 раза превышает предельно допустимую суточную дозу.

Пример 12. Определить эквивалентную дозу при одновременном гамма- и нейтронном облучении, если поглощенная доза гамма-излучения равна 0,5 рад, доза тепловых нейтронов – 0,2 рад и доза быстрых нейтронов – 0,1 рад.

Решение: При одновременном воздействии нескольких видов излучения с разными коэффициентами качества (k_i) эквивалентная доза (H) определяется как сумма эквивалентных доз для всех видов излучения (R):

$$H = \sum_{i=1}^R k_i \cdot D_i$$

Коэффициент качества для гамма излучения равен 1, для тепловых нейтронов – 3, для быстрых нейтронов – 10. Поэтому эквивалентная доза будет равна: $0,5 \times 1 + 0,2 \times 3 + 0,1 \times 10 = 2,1$ рад

Ответ: 2,1 рад.

РЕШИТЕ ЗАДАЧИ:

1. Период полураспада изотопа актиния ${}_{89}^{225}\text{Ac}$ равен 10 суток. Количество не распавшихся ядер составит 25% от начального количества за ___ суток.

2. Вычислите, через какое время останется 1/8 часть изотопа ${}^{131}\text{I}$ от исходной массы ($T_{1/2}=8$ сут).

3. Какая доля начального количества радиоактивного вещества останется по прошествии 2, 4, 5, 10 периодов полураспада?

4. Сколько процентов начального количества радиоизотопа распадется за 5 периодов полураспада?

5. За 5 минут в препарате происходит распад 6000 ядер. Вычислить активность препарата в Ки, мКи и мкКи.

6. Радиоактивный изотоп ^{131}I имеет период полураспада 8 суток. Если взять 100 мг этого изотопа, то, сколько его останется через 16 дней?

7. Какое количество (в %) от первоначального ^{32}P распадётся за 43 дня? Период полураспада ^{32}P равен 14,3 сут.

8. Активность препарата ^{32}P равна 5 мкКи. Какой она будет через неделю? Период полураспада ^{32}P равен 14,3 сут.

9. Какая доля начального количества ядер ^{137}Cs распадётся за 1 с. и за 1 год? ($T_{1/2}=30$ лет).

10. Какая масса ^{131}I ($T_{1/2}=8,05$ сут.) останется не распавшейся через 30 дней, если первоначальная масса изотопа составила 100 мг?

11. Через какое время препарат радия-226 распадётся на 99% ($T_{1/2}=1617$ лет)?

12. Известно, что 1 г радия-226 ($T_{1/2}=1617$ лет) претерпевает в секунду $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов. На основании этих данных вычислить постоянную Авогадро.

13. Активность 1 г ^{137}Cs ($T_{1/2}=30$ лет) равна $3,2 \cdot 10^{13}$ Бк. Определить постоянную Авогадро.

14. Определить массу радона-222 ($T_{1/2}=3,83$ сут.), активность которого равна активности 0,1 г радия-226 ($T_{1/2}=1617$ лет)?

15. В 1 г ^{238}U происходит $1,2 \cdot 10^4$ расп./с. Определить период полураспада урана.

16. Определить удельную активность (в Бк/г) ^{226}Ra ($T_{1/2}=1617$ лет).

17. Определить удельную активность (Бк/г) образца железа массой 1 мг, в котором содержится 1 мкг ^{59}Fe ($T_{1/2}=47,1$ сут.).

18. Какова удельная активность природного самария (Бк/г), если содержание радиоактивного изотопа самария-147 составляет 15,07% и его период полураспада равен $1,3 \cdot 10^{11}$ лет.

19. Сколько содержится серы-35 ($T_{1/2} = 87,1$ сут.) в 1 мг природной серы, если удельная активность образца составляет $1,58 \cdot 10^6$ Бк/мг?

20. Сколько содержится ^{59}Fe ($T_{1/2} = 47,1$ сут.) в 10 мг железа, если удельная активность образца составляет $1,73 \cdot 10^6$ Бк/мг?

21. Рассчитайте число распавшихся за 1 мин. атомов ^{238}U ($T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ лет) в препарате, содержащем 1 мг урана. Сколько атомов урана распадется в этом препарате за 1 год?

22. Сколько атомов указанных радионуклидов распадется за одну секунду в одном грамме препарата при известном периоде полураспада?

^{22}Na (2,6 года); ^{220}Rn (51,5 с);
 ^{38}S (2,9 ч); ^{218}At (2 мин);
 ^{216}Po (0,16 с); ^{234}Pa (1,18 мин.)

23. В естественной смеси изотопов калия содержится 0,012% радиоактивного изотопа ^{40}K . Период полураспада ^{40}K – $1,31 \cdot 10^9$ лет. Определить активность 1 тонны минеральных удобрений (в Бк), содержащих следующее количество K_2O (%):

- 1) хлористый калий – 60,
- 2) калийная соль – 40,
- 3) нитрофоска – 11.

24. Рассчитать поверхностную активность ($\text{Бк}/\text{м}^2$), создаваемую дополнительно известняковой мукой в момент внесения, если известно, что в удобрении содержится 36 % естественной смеси кальция, в которой находится 0,19 % радиоактивного ^{48}Ca . Доза известняковой муки 5 т/га. Период полураспада ^{48}Ca – $2 \cdot 10^{16}$ лет.

25. Определить удельную активность исследуемого материала ($\text{Бк}/\text{кг}$), обусловленную ^{40}K , если содержание общего калия в материале 1%, а активность 1 г природного калия составляет 1900 расп./мин.

26. Внесено 300 мкКи меченого ^{32}P удобрения в среду выращивания тепличной культуры фасоли. Сухая масса растений фасоли через 30 суток после внесения удобрения составила 55,4 г, а активность ^{32}P в 0,2 г растительной массы в это время была 200 Бк. Какое количество радиоактивного фосфора было поглощено растениями (в % от внесенного)?

37. Как изменится заряд и массовое число ядра при протекании следующих реакций: (n, γ) ; (n, α) ; (p, α) ; $(n, 2n)$; (n, pn) ; (α, p) ; (α, n) ; (γ, p) ; (γ, n) (в скобках – первая частица – бомбардир, вторая – продукт реакции). Указать, какие ядерные реакции эквивалентны друг другу по образующимся продуктам реакции.

38. Указать, какие ядерные реакции эквивалентны друг другу по образующимся продуктам реакции: (n, γ) ; (n, p) ; (n, α) ; $(n, 2n)$; (γ, n) ; (p, γ) ; (p, n) ; (p, α) ; (α, p) . В скобках указаны: первая частица – бомбардир, вторая – продукт реакции.

39. При делении ядра урана-235 на два осколка наряду с двумя нейтронами образовалось радиоактивное ядро ксенона-140. Изотопом какого элемента является второй осколок?

40. При делении урана-238 на два осколка образуется радиоактивный цезий-142 и 2 нейтрона. Изотопом какого элемента является второй осколок?

41. В результате какой ядерной реакции из ^{14}N образуется ^{17}O ?

42. Рассчитайте массы ^{60}Co ($T_{1/2}=5,27$ года) и ^{137}Cs ($T_{1/2}=30$ лет), необходимые для получения активности в 4 МКи.

43. Нормальная концентрация радиоактивных веществ в воздухе составляет $3,7$ Бк/м³. Сколько радиоактивного ^{89}Sr можно держать в помещении объемом 10^3 м³, чтобы концентрация радиоактивных продуктов не превышала предельно допустимой для живой ткани величины 37 Бк/м³. Период полураспада ^{89}Sr равен 53 сут.

44. Рассчитать время, за которое облучение человека достигает предельной допустимой дозы для аварийной ситуации (10 бэр) при нахождении его на открытой местности, в кирпичном доме (степень ослабления радиации 10), в деревянном доме (степень ослабления радиации 2), если прошло радиоактивное заражение местности с интенсивностью 10 Зв/ч.

45. При облучении биологической ткани потоком альфа-частиц с кинетической энергией 4,4 МэВ каждый грамм ткани получил дозу, равную 0,5 Зв. Полагая, что для альфа-частиц коэффициент качества (коэффициент ОБЭ) равен 20, найти число частиц, поглощенных тканью массой 1 кг.

46. В результате аварийного выброса ^{137}Cs молоко оказалось загрязненным до 370 Бк/л. Рассчитать месячную дозу на организм

человека (МкЗв), если объем потребляемого молока равен 0,5 л/сут. (15 л/мес.) и указанная объемная активность сохраняется в течение года. Дозовый коэффициент для ^{137}Cs – 0,013 мкЗв/Бк.

47. Определить допустимое число 8-часовых смен нахождения человека в поле при общем дозовом пределе 1000 мкЗв/год, дозой постоянной 0,07 (мкЗв/ч)/(Ки/км²), плотности радиоактивного загрязнения территории ^{137}Cs 6 Ки/км² и дозе годового внутреннего облучения 700 мкЗв.

48. Определить степень загрязнения радионуклидами озимой ржи, выращиваемой на дерново-подзолистой суглинистой почве при плотности загрязнения ^{137}Cs 14, ^{90}Sr – 0,3 Ки/км². Коэффициент перехода из почвы в растения ^{137}Cs – 10, ^{90}Sr – 40 (Бк/кг)/(Ки/км²). Пользуясь данными СанПиН, сделайте заключение о возможности использования полученного зерна для переработки на пищевые цели, если коэффициент потерь радионуклидов при переработке составляет 0,5.

49. Пользуясь приложением 10, определите безопасность мяса убойных животных, если с суточным рационом кормления в их организм поступило 15600 Бк ^{137}Cs и 2530 Бк ^{90}Sr . Коэффициент перехода в мясо ^{137}Cs 0,04, ^{90}Sr – 0,0006 Бк/сут. Сопоставьте требования безопасности России и Беларуси по содержанию в мясе радионуклидов.

50. Определите дозу внутреннего облучения ($D_{\text{внутр}}$), получаемого человеком с продукцией растениеводства при плотности загрязнения дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы ^{137}Cs 10 Ки/км² (дозовый коэффициент по НРБ-99 – 0,013 мкЗв/Бк), и сделайте заключение о возможности непосредственного использования и реализации этой продукции по следующим данным:

Продукты	КП, Бк/кг	$k_{\text{пп}}$	$a_{\text{прод}}$, Бк/кг	СанПиН, Бк/кг	ГП, кг	$D_{\text{внутр}}$, мкЗв
Хлеб	2	0,5		40	100	
Овощи	6	0,6		120	80	
Картофель	5	0,8		120	110	

Обозначения:

КП – коэффициент перехода – пересчета от плотности загрязнения почвы (Ки/км²) к ожидаемому содержанию в урожае (Бк/кг);

$k_{\text{пп}}$ – коэффициент потерь радионуклидов в процессе переработки;

ГП – годовое потребление продукта населением по среднестатистическим данным (кг);

$a_{\text{прод}}$ – ожидаемое содержание радионуклида в продукции растениеводства.

51. Определите дозу внутреннего облучения ($D_{\text{внутр.}}$), получаемого человеком с продукцией животноводства при плотности загрязнения дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы ^{137}Cs 8 $\text{Ки}/\text{км}^2$ и ^{90}Sr 1,4 $\text{Ки}/\text{км}^2$, (дозовый коэффициент по НРБ-99: для ^{137}Cs – 0,013, для ^{90}Sr – 0,08 $\text{мкЗв}/\text{Бк}$) и сделайте заключение о продукте и радионуклиде, дающем больший вклад в дозу внутреннего облучения и о возможности непосредственного использования и реализации этой продукции по следующим данным:

Нуклид	Продукты	Поступление с кормами, Бк/сут	$K_{\text{Прац}}$	$a_{\text{прод}}$, Бк/кг	СанПиН, Бк/кг	ГП, кг	$D_{\text{внутр.}}$, мкЗв
^{137}Cs	Молоко	3040	0,01		100	165	
	Мясо		0,04		160	50	
^{90}Sr	Молоко	9800	0,001		25	165	
	Мясо		0,0006		50	50	

Обозначения:

$K_{\text{Прац}}$ – коэффициент перехода нуклидов из кормов в продукты животноводства (в расчете на 1 л (кг) продукта);

$a_{\text{прод}}$ – ожидаемое содержание (активность) нуклида в продукции животноводства

52. Определите годовую дозу внешнего облучения человека при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 9 $\text{Ки}/\text{км}^2$ и ^{90}Sr 1,5 $\text{Ки}/\text{км}^2$ и дозовом коэффициенте 100 ($\text{мкЗв}/\text{год}$)/($\text{Ки}/\text{км}^2$).

53. Провели корневую и некорневую подкормку древесного растения фосфорным удобрением, меченым ^{32}P , и измерили активность коры и древесины на уровне, соответствующем половине высоты стебля. Получены следующие результаты (имп./мин):

Часть растения	Корневая подкормка	Некорневая подкормка
Кора	90	1360
Древесина	110	8

Сделайте заключение:

- о распределении фосфора между корой и древесиной;
- о направлениях, путях перемещения и скорости движения фосфора в том и другом вариантах подкормки.

54. Пользуясь приложением 5, рассчитать прогнозируемую радиоактивность сена, получаемого с угодий, расположенных вблизи санитарной зоны атомной электростанции. Интенсивность контролируемых выпадений ^{137}Cs составляет $5 \cdot 10^6$ $\text{Бк}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$, ^{131}I – $5 \cdot 10^6$ $\text{Бк}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$, $^{141/144}\text{Ce}$ – $3,5 \cdot 10^6$ $\text{Бк}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$.

55. Определить уровень радиоактивной загрязненности сена естественных сенокосов ^{137}Cs на дерново-подзолистых песчаных почвах при плотности загрязнения $10 \text{ Ки}/\text{км}^2$ и содержании подвижного калия менее $80 \text{ мг}/\text{кг}$. (используйте приложение 12).

56. Каким образом можно использовать молоко, загрязненное ^{131}I активностью $800 \text{ Бк}/\text{кг}$?

57. Молоко загрязнено ^{137}Cs активностью $480 \text{ Бк}/\text{кг}$. Допустимый уровень – $100 \text{ Бк}/\text{кг}$. Каким образом можно использовать его для питания человека?

58. На рабочем месте имеем радионуклид ^{131}I ($K\gamma = 2,3 \text{ Р}/\text{ч}$) активностью 37 мКи . Какую дозу получит экспериментатор за 2 часа работы, если он находится на расстоянии $0,5 \text{ м}$ от объекта? Предельно допустимая доза (ПД) составляет $17 \text{ мР}/\text{сут}$.

59. Рассчитать, какую активность радионуклида ^{131}I ($K\gamma=2,3 \text{ Р}/\text{ч}$) можно иметь на рабочем месте на расстоянии $0,5 \text{ м}$, чтобы за 2 ч работы не получить дозу облучения выше ПД ($0,017 \text{ Р}/\text{сут}$).

60. Определить безопасное расстояние для работы в течение 2 ч с источником ^{131}I активностью 37 мКи .

61. Мощность экспозиционной дозы источника гамма излучения составляет $100 \text{ Р}/\text{ч}$. Рассчитать экспозиционную дозу на расстоянии 100 см в течение 1 ч.

62. Рассчитать экспозиционную дозу, создаваемую препаратом ^{22}Na активностью 2 мКи на расстоянии 100 см за 1 час ($K\gamma = 19,06 \text{ Р}/\text{ч}$).

63. Рассчитать эквивалентную дозу, если поглощенная доза гамма-излучения равна 12 рад , 50 рад , 120 рад .

64. Определить эквивалентную дозу при одновременном облучении гамма и нейтронным облучением, если поглощенная доза гамма-излучения равна $0,5 \text{ рад}$, доза тепловых нейтронов – $0,2 \text{ рад}$ и доза быстрых нейтронов – $0,1 \text{ рад}$.

65. Вычислить эквивалентную дозу от смешанного источника излучения, если поглощенные дозы составили: от β -излучения – $0,5 \text{ Гр}$, α -излучения – 2 Гр , γ -излучения 4 Гр , медленных нейтронов – 5 Гр . Ответ выразить в системных и несистемных единицах.

ОТВЕТЫ

№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ
<i>Физические основы радиологии. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом</i>					
1	Г	27	Б	53	В
2	А, Б, В	28	А	54	Г
3	А, Г	29	А	55	Б
4	Г	30	Б	56	А
5	В	31	В	57	Б
6	В	32	А	58	А
7	А, В	33	Б	59	Б
8	Б	34	В	60	В
9	В	35	А	61	Б, В
10	Б	36	В	62	В, Г
11	В	37	Б	94	1 - г, 2 - в, 3 - б, 4 - а
12	А, Б	38	А	95	1 - а, б, в, г; 2 - а, б, в; 3 - б; 4 - б
13	В	39	Г	96	1 - б, 2 - а, 3 - г, 4 - в
14	Б	40	Б, Г	97	1 - б, г, 2 - в, 3 - а
15	Б	41	Б	98	1 - а, б; 2 - г; 3 - в
16	В	42	В	99	1 - б, в; 2 - б, в; 3 - а, г
17	В	43	Б	100	1 - а, д; 2 - а, в, г; 3 - б, в; 4 - д
18	Г	44	В	101	А, б, е, д, г, в
19	Г	45	В	102	В, г, д, б, е, а
20	Г	46	А	103	В, а, б, г
21	В	47	В	104	Б, в, а, г
22	А	48	А	105	А, в, б
23	Б	49	А	106	А, в, б
24	В	50	В	107	Б, в, а
25	Г	51	А		
26	В	52	Б		
<i>Осаждение радионуклидов на почвенно-растительный покров и включение в биологический цикл. Дозиметрия</i>					
1	В	7	Г	13	В
2	А	8	В	14	Б
3	Б	9	В, Г	15	Б
4	Г	10	В	16	В
5	Г	11	Б	17	Б
6	В	12	А	18	А, В, Г

№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ
<i>Осаждение радионуклидов на почвенно-растительный покров и включение в биологический цикл. Дозиметрия (продолжение)</i>					
19	Б	31	В	43	Б
20	А	32	Г	44	А
21	Б	33	Б, Г	45	Б
22	Б	34	Б	46	В
23	В	35	Б	47	А
24	Б	36	А	97	1 – а; 2 – б 3 – б
25	А	37	Б, В	98	1 – б; 2 – а
26	Б	38	В	99	1 – в; 2 – а; 3 – б
27	В	39	А	100	1 – в; 2 – б; 3 – а
28	Г	40	Б	101	1 – в; 2 – а; 3 – б;
29	Б	41	Г	102	1 – б; 2 – а; 3 – в; 4 – г
30	А	42	В		
<i>Радиочувствительность организмов. Биологическое действие ионизирующих излучений.</i>					
1	Б, Г	9	Б	17	А
2	Г	10	Б, В	18	Б
3	Б	11	Б	19	А
4	А, Б, В	12	В	20	В
5	Б	13	А	41	1 – б, г; 2 – а, в
6	А, Г	14	Б	42	1 – а, в; 2 – в; 3 – в
7	Б	15	В	43	1 – б; 2 – д; 3 – г
8	Б	16	А		
<i>Прогнозирование и предотвращение накопления радиоактивных веществ в сельскохозяйственной продукции. Дезактивация продукции.</i>					
1	А	9	Б	44	Б, В, А
2	Б	10	А, Б	45	Б, В, Г, А
3	В	11	В, Г	46	Г, В, Б, А
4	А, В	13	Б, Г	47	Б, В, Г, А
5	А, в, Г	14	Б, В	48	В, А, Г, Б
6	Б, В	40	1 – б, г; 2 – а, в, д	49	В, Б, Г, А
7	Г	41	1 – в; 2 – б; 3 – а	50	А, В, Б, Г
8	Б	42	1 – в; 2 – а; 3 – б	51	В, Г, Б, А

№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ	№ вопроса	Ответ
<i>З а д а ч и</i>					
1	20 сут.	20	10 мкг	41	(α ; p)
4	96,9%	21	0,7 расп./мин; 3895 расп./год	42	$3,5 \cdot 10^3$ г; $4,6 \cdot 10^4$ г
5	$5,4 \cdot 10^{-10}$ Ки	23	КСИ: $1,5 \cdot 10^7$ Бк	43	$0,3 \cdot 10^{-10}$ г
6	25 мг	24	$4,7 \cdot 10^{-3}$ Бк/м ²	44	36 мин.; 360 мин.; 72 с.
7	87,5 %	26	2,14 %	45	$3,5 \cdot 10^{13}$ α -частиц
8	3,55 мкКи	27	$25 \cdot 10^4$ Бк	46	72,1 мкЗв
13	$6,02 \cdot 10^{23}$	28	0,05 г	47	89 смен
15	$4,6 \cdot 10^9$ лет	29	$36 \cdot 10^9$ Бк; 4,0	50	900 мкЗв
16	$1,1 \cdot 10^{18}$ Бк/год	30	$0,45 \cdot 10^{-17}$	51	¹²⁷ Cs – 60 Бк/кг (СанПин – 40 Бк/кг); ⁹⁰ Sr – 6 Бк/кг (СанПин – 20 Бк/кг)
17	$1,7 \cdot 10^9$ Бк	31	$9,1 \cdot 10^{17}$	54	¹³¹ I – 385 Бк/л; ¹³⁷ Cs – 265 Бк/л; ^{141/144} Ce – 133 Бк/кг
18	104 Бк/г	32	$1 \cdot 10^{10}$ Бк		
19	1 мкг	33	$6,2 \cdot 10^{11}$ Бк/г		

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Свойства некоторых радиоактивных изотопов

Атомный номер	Изотоп	Тип превращения	Период полураспада	Энергия излучения*, МэВ
1	^3T	β^-	12,26 лет	0,018
6	^{14}C	β^-	5470 лет	0,056
7	^{13}N	β^+	10,5 мин.	1,54
15	^{32}P	β^-	14,3 сут.	1,701
16	^{35}S	β^-	87,1 сут.	0,169
19	^{40}K	β^- , γ	$1,31 \cdot 10^9$ лет	1,33 1,46
20	^{45}Ca	β^-	163 сут.	0,254
25	^{56}Mn	β^- γ	2,574 ч.	2,81 (50 %); 1,04 (30 %) 0,65 (20 %) 2,06
26	^{59}Fe	β^- , γ	47,1 сут.	0,46 (50 %); 0,357 (50 %) 1,295; 1,097
27	^{60}Co	β^- , γ	5,27 лет	0,306 1,33; 1,17
38	^{90}Sr	β^-	28,9 лет	0,61
40	^{95}Zr	β^- , γ	65 сут.	0,371 (99 %); 0,84 (1 %) 0,721
55	^{137}Cs	β^- , γ	30 лет	0,51 (92 %); 1,17 (8 %) 0,66
56	^{141}Ba	β^-	18 мин.	2,8
57	^{140}La	β^- γ	40 ч.	1,32 (70 %); 1,67 (20 %) 2,26 (10 %) 0,093; 0,335; 0,490; 0,820; 1,60; 2,50; 3,0
58	^{141}Ce	β^- , γ	33,1 сут.	0,581 (33 %); 0,442 (67 %) 0,145
62	^{147}Sm	α	$1,4 \cdot 10^{11}$ лет	2,18
82	^{212}Pb ^{214}Pb	β^- , γ β^- , γ	11 ч. 27 мин.	0,589; 0,355 0,415; 0,30; 0,25; 0,238 1,03; 0,65; 0,59 0,352; 0,295
83	^{210}Bi	$\beta^- (>99 \%)$ $\alpha (5 \cdot 10^{-5} \%)$	4,989 сут	1,17 4,93

Продолжение приложения 1

84	^{210}Po	α , β^+ , γ	138 сут.	5,297; 4,5 3,3 0,8
	^{212}Po	α	$3 \cdot 10^{-7}$ с.	10,536; 10,417; 9,489; 8,776
	^{218}Po	α , β^-	3,05 мин.	5,998
86	^{222}Rn	α , γ	3,825 сут.	5,486 0,510
88	^{226}Ra	α , e^- , γ	1617 лет	4,793; 4,589 2,432; 2,204; 1,848; 1,764; 1,509; 1,378; 1,238; 1,120; 0,934; 0,769; 0,609; 0,450; 0,294; 0,241; 0,184
90	^{232}Th	α , e^- , γ	$1,39 \cdot 10^{10}$ лет	3,98; 3,905 0,070; 0,055 0,059
92	^{234}U	α , γ	$2,48 \cdot 10^5$ лет	4,763; 4,716 0,118; 0,052
	^{235}U	α , γ	$7,13 \cdot 10^3$ лет	4,58; 4,393 0,382; 0,289; 0,198; 0,184; 0,110; 0,074
	^{237}U	β^- , e^- , γ	6,63 сут.	0,245 0,430; 0,334; 0,269; 0,207 0,165; 0,102; 0,059; 0,043; 0,027
	^{238}U	α , e^- , γ	$4,5 \cdot 10^9$ лет	4,180; 4,132 0,045; 0,030 0,112; 0,048
	^{239}U	α , β^- , e^- , γ	23,5 мин.	4,1 2,06 0,870; 0,073
94	^{238}Pu	α , γ	89,6 лет	5,493; 5,450 0,150; 0,101; 0,044
	^{239}Pu	α , e^- , γ	$2,411 \cdot 10^4$ лет	5,238; 5,225; 5,187 0,384; 0,200; 0,124; 0,100; 0,052; 0,0385; 0,0205; 0,0174; 0,0136

* Энергия излучения для β -спектров дана максимальная

Основные дозиметрические единицы

Измеряемые величины	Единицы измерения		Соотношение между единицами
	внесистемные	в системе СИ	
Радиоактивность	Ки (кюри)	Бк (беккерель)	1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк 1 Бк = 27×10^{-11} Ки
Экспозиционная доза	Р (рентген)	Кл/кг	1 Р = $2,58 \times 10^{-7}$ Кл/кг 1 Кл/кг = 3876 Р
Эквивалентная доза	Бэр (биологический эквивалент рентгена)	Зв (зиверт)	1 бэр = 0,01 Зв 1 Зв = 100 бэр
Поглощенная доза	рад (<i>radiation absorbed dose</i>)	Гр (грей)	1 рад = 0,01 Гр 1 Гр = 100 рад

Допустимые и контрольные уровни содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции (Бк/кг, Бк/л)

Допустимые уровни в пищевых продуктах по СанПиН (2001 г.)			Контрольные уровни (КУ) в кормах (1994 г.)		
Продукты	^{137}Cs	^{90}Sr	Продукты	^{137}Cs	^{90}Sr
Хлеб	40	20	Грубые корма	600	100
Молоко	100	25	Сочные корма	600	100
Мясо	160	50	Зеленый корм	370	50
Картофель	120	40	Концентраты*	600	65
Овощи	120	40			
Грибы сухие	2500	250			

* На основе вико-овсяной смеси

Ориентировочные значения коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в растения (Бк/кг), при плотности загрязнения 1 Ки/км²

Нуклид	Почва*	Пшеница	Овощи (капуста, свекла)	Картофель	Много- летние травы	Кукуруза (зеленая масса)	Вико- овсяная смесь (зерно)
¹³⁷ Cs	0	10	10	10	220	20	40
	1	3	8	7	150	10	20
	2	2	6	5	70	4	10
	3	1,5	4	3	40	2	2
	4	2,0	3	3	40	3	2
	5	1,5	3	2	40	1,5	2
	6	1,5	3	2	40	1,5	2
	7	1,5	3	2	40	1,5	2
	8	1,0	2,5	2	40	1	2
	9	0,5	2	2	40	0,7	2
⁹⁰ Sr	0	40	130	100	2000	450	240
	1	30	90	75	1500	300	180
	2	20	55	60	700	200	100
	3	10	35	30	300	100	50
	4	15	40	40	500	150	70
	5	7	15	10	250	90	40
	6	7	15	10	250	90	40
	7	7	15	10	250	90	40
	8	5	10	6	100	60	20
	9	4	7	4	50	40	10

* – почвы: **0** – дерново-подзолистая песчаная; **1** – дерново-подзолистая супесчаная;
2 – дерново-подзолистая суглинистая; **3** – дерново-подзолистая тяжело суглинистая;
4 – серая лесная; **5** – серозем; **6** – каштановая; **7** – луговая; **8** – чернозем выщелоченный; **9** – чернозем типичный.

Коэффициенты перехода радионуклидов в сено и продукцию животноводства при «свежих» непрерывных выпадениях, (Бк/кг)/(ГБк/км²·мес)

(А.Н. Корнеев, Н.А. Сироткин, 1987; Н.А. Сироткин, Р.Г. Ильязов, 2000)

Радионуклид	Звено миграции	КП
¹³¹ I	Выпадение – сено	$7,7 \cdot 10^{-6}$
	Выпадение – молоко	$1,3 \cdot 10^{-6}$
	Выпадение - мясо	$1,3 \cdot 10^{-6}$
¹³⁷ Cs	Выпадение – сено	$5,3 \cdot 10^{-6}$
	Выпадение – молоко	$1,7 \cdot 10^{-7}$
	Выпадение - мясо	$5,9 \cdot 10^{-7}$
⁹⁰ Sr	Выпадение – сено	$4,0 \cdot 10^{-6}$
	Выпадение – молоко	$3,1 \cdot 10^{-8}$
	Выпадение - мясо	$8,0 \cdot 10^{-8}$
^{141/144} Ce	Выпадение – сено	$3,8 \cdot 10^{-6}$
	Выпадение – молоко	$3,5 \cdot 10^{-9}$
^{235/238} U	Выпадение – сено	$3,5 \cdot 10^{-8}$
²³⁹ Pu	Выпадение – сено	$3,5 \cdot 10^{-6}$

**Эффективность агротехнических мероприятий по снижению
накопления радионуклидов в продукции растениеводства
на дерново-подзолистых почвах**

Мероприятия	Кратность снижения накопления	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Известкование кислых почв	1,5–2 (до 2–3)	3–7 (до 20)
Минеральные удобрения (РК 1,5–2-кратные дозы)	1,5–2 (до 2–5)	2–3
Органические удобрения: на легких и малоплодородных почвах	2–3	5–8
на тяжелых почвах	1,5–2	1,5–2
Глинование легких почв	1,5–3	1,5–2
Проведение комплекса перечисленных выше мероприятий	до 4–5	до 4–5
Поверхностное улучшение лугов: фрезерование дернины	1,5	2,5
вспашка	1,5–2,5 (до 3)	3,5
Коренное улучшение лугов и пастбищ с внесением минеральных удобрений и извести	2–5 (до 10)	2–4
Заглубленная вспашка с оборотом пласта	5–10	5–10
Осушительная мелиорация на торфяно-болотных и глеевых почвах	3–10	3–10
Промывание с использованием слабоминерализованных вод	1,3–2,5	3–6 (до 20)

**Снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственной
продукции при переработке**

Виды переработки, продукт	Кратность снижения содержания	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Помол зерна на муку	1,5–2,5	1,5–2,5
Производство крупы из зерна	1,5–2,5	1,5–2,5
Промывка овощей и картофеля	1,5–10	1,5–10
Срезание головок корнеплодов, удаление кроющих листьев	2–10	2–10
Производство осветленных соков	2,5–3	–
Производство компотов, варений	2	2
Получение сахара из сахарной свеклы	700	500
Переработка картофеля на крахмал	50	–
Переработка зерна на крахмал	50	–
Переработка зерна на спирт	1000	>1000
Переработка молока на:		
молочный порошок	1	1
обезжиренное молоко	1,2	1,1
сливки	4–30	4–25
творог обезжиренный	10–100	5–14
масло	40–100	70–400
масло топленое	>100	500–1000
Вываривание мяса (около 0,5 часа)	1,5–6	1,5–2,5
Перетапливание сала	20	20
Вываривание свежих грибов	2–5	1,1–1,4
Вымачивание сухих грибов	–	5–10

Нормативы основной и дополнительной потребности в фосфорных удобрениях на загрязненных радионуклидами почвах

Почва	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	Основ- ная потреб- ность в P ₂ O ₅ , кг/га	Дополнительная потребность (кг/га) при плотности загрязнения, Ки/км ²		
			¹³⁷ Cs 1,0–4,9 ⁹⁰ Sr 0,15 – 0,29	¹³⁷ Cs 5,0–14,9 ⁹⁰ Sr 0,30 – 1,99	¹³⁷ Cs 15,0–40,0 ⁹⁰ Sr 2,0 – 3,0
Пашня					
Дерново- подзолистые, дерновые	Менее 60	45	15	30	45
	61 - 100	40	10	20	30
	101 – 150	35	5	10	15
	151 – 250	20	-	5	10
	Более 250	-	-	-	-
Сенокосы и пастбища					
Дерново- подзолистые, дерновые	Менее 60	35	15	30	45
	61 - 100	30	10	20	30
	101 – 150	25	5	10	15
	151 – 250	10	-	5	10
	Более 250	-	-	-	-

Нормативы основной и дополнительной потребности в калийных удобрениях на загрязненных радионуклидами землях

Почва	K ₂ O, мг/кг почвы	Основная потреб- ность в K ₂ O, кг/га	Дополнительная потребность (кг/га) при плотности загрязнения, Ки/км ²		
			¹³⁷ Cs 1,0–4,9 ⁹⁰ Sr 0,15 – 0,29	¹³⁷ Cs 5,0–14,9 ⁹⁰ Sr 0,30 – 1,99	¹³⁷ Cs 15,0–40,0 ⁹⁰ Sr 2,0 – 3,0
Пашня					
Дерново- подзолистые дерновые	Менее 80	100	50	100	150
	81 – 140	90	30	60	90
	141 – 200	80	20	40	60
	201 – 300	55	15	30	45
	Более 300	-	-	-	-
Сенокосы и пастбища					
Дерново- подзолистые , дерновые	Менее 80	80	40	80	120
	81 – 140	70	30	60	90
	141 – 200	60	20	40	60
	201 – 300	45	15	30	45
	Более 300	-	-	-	-

Допустимые уровни цезия-137 и стронция-90 в продовольственном сырье и пищевых продуктах (Извлечение из СанПиН 2.3.2.1078-01)

Группа продуктов	Допустимые уровни, Бк/кг (л)	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Мясо домашних животных без костей	160	50
Мясо диких животных и оленина без костей	320	100
Кости (всех видов животных)	160	200
Мясо птицы (и субпродукты)	180	80
Яйца и продукты их переработки	80	59
Молоко, сливки, сметана, кисломолочные продукты и напитки на молочной основе	100	25
Молоко сгущенное	300	100
Сухие молочные продукты	500	200
Сыры	50	100
Рыба свежая и мороженная	130	100
Рыба сушеная, вяленая и копченая	260	200
Нерыбные объекты промысла	200	100
Зерно продовольственное	70	40
Семена зернобобовых	50	60
Крупа, мука, толокно, хлопья	50	30
Макаронные изделия	60	30
Хлеб, хлебобулочные изделия	40	20
Бараночные и сухарные изделия	50	30
Сахар	140	100
Конфеты, кондитерские изделия	160	100
Шоколад	140	100
Какао	100	80
Мучные кондитерские изделия	50	30
Мед	100	80
Свежие картофель, овощи, бахчевые	120	40
фрукты, ягоды, виноград	40	30
ягоды дикорастущие	160	60
грибы	500	50
Сухие картофель, овощи, бахчевые	600	200
фрукты, ягоды, виноград	200	150
ягоды дикорастущие	800	300
грибы	2500	250
Концентраты овощные, фруктовые	1200	240
Джемы, варенье, конфитюры, повидло	80	70
Специи и пряности сухие	200	100
Орехи	200	100
Чай	400	200
Кофе (в зернах, молотый, растворимый)	300	100
Семена масличных	70	90

Группа продуктов	Допустимые уровни, Бк/кг (л)	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Масло растительное	60	80
Жир-сырец животный, жиры топленые	100	50
Масло коровье	200	60
Жировые продукты животного-растительные	100	60
Рыбий жир	60	80
Питьевая вода	Общая α – 0,1 Бк/л	
Минеральные воды питьевые	Общая β – 1,0 Бк/л	
Напитки безалкогольные	70	100
Напитки брожения	70	100
Пиво, вино, водка и другие спиртные напитки	70	100
Бульоны пищевые сухие	160	50
Ксилит, сорбит и другие сахароспирты	200	100
Соль поваренная	300	100
Биологически активные добавки (БАД) пищевые	200	100
БАД на растительной основе сухие, чаи	400	200
Сублиматы на растительной основе	200	100
Эликсиры, бальзамы, настойки	200	100
Продукты для питания детей раннего возраста		
на молочной основе	40	25
на зерновой основе	40	25
на плодоовощной основе	60	25
на мясной основе	70	30
на рыбной основе	100	60
Продукты питания для беременных и кормящих женщин		
на молочной основе	50	40
на молочно-зерновой основе	50	30
на плодоовощной основе	60	40
травяные чаи	200	100

Допустимые уровни (ДУ) содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в кормах сельскохозяйственных животных (Ветеринарные правила и нормы ВП 13-5-13/06-01)

Наименование корма, кормовые добавки *	Допустимый уровень радионуклидов, Бк/кг(л)	
	^{90}Sr	^{137}Cs
Грубые корма (сено, солома)	180	400
Сочные корма (силос, сенаж)	150	80
Корне-, клубнеплоды, бахчевые	80	60
Травы естественные и сеяные	50	100
Комбикорма, зерно злаковых и бобовых культур, отруби, дерть	140	200 (140)*
Жмых, шрот	200	600
Травяная мука, хвойная мука	100	600
Ягель	100	300
Мясо, рыба, и другие корма животного происхождения	100	600
Корма сухие животного происхождения с растительными и другими добавками	100	600
Мука костная, мясная, рыбная	200	600
Молоко цельное	50	370
Сухие молочные смеси и заменители молока	200	800
Белково-витаминные, минеральные добавки, премиксы, корма микробиологического синтеза	150	750
Сырье кормовое и готовые корма из него	400	800

* - в кормах для кур-несушек

Активность ^{40}K в основных продуктах питания

Продукт	Содержание K_2O , %	Удельная активность, Бк/кг (10^{-9} Ки/кг)
Пшеница	0,5	150 (4,0)
Рожь	0,6	176 (4,8)
Горох	0,9	274 (7,4)
Крупа гречневая	0,13	41 (1,1)
Картофель	0,45	130 (3,5)
Морковь	0,29	84 (2,3)
Лук	0,15	44,4 (1,20)
Огурцы	0,34	100 (2,7)
Лимоны	0,17	41 (1,14)
Клюква	0,15	44,4 (1,2)
Говядина	0,37	84 (2,3)
Свинина	0,10	33,3 (0,9)
Рыба	0,26	77,7 (2,1)
Икра	0,42	127 (3,4)
Молоко коровье	0,14	44,4 (1,2)
Масло сливочное	0,014	37 (0,1)

Значение поправочного коэффициента $K = e^{0,693 \cdot t/T}$ на радиоактивный распад для различных значений времени t , выраженного в долях периода полураспада (по И.Н. Верховской)

t/T	K	t/T	K	t/T	K
0,00	1,00	0,60	1,52	3,00	8,00
0,02	1,02	0,70	1,62	3,50	11,36
0,04	1,03	0,80	1,73	4,00	16,00
0,06	1,04	0,90	1,86	4,50	22,65
0,08	1,06	1,00	2,00	5,00	32,00
0,10	1,07	1,25	2,36	6,00	64,00
0,20	1,15	1,50	2,82	7,00	128,00
0,30	1,23	1,75	3,35	8,00	256,00
0,40	1,32	2,00	4,00	9,00	512,00
0,50	1,41	2,50	5,64	10,00	1024,00

Коэффициенты перехода радионуклидов из суточного рациона кормов в 1 кг (л) животноводческой продукции ($K_{П\text{рац}}$)

Вид продукции	$K_{П\text{рац}}$	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Корма → мясо говяжье	0,04	0,0006
Корма → молоко коровье	0,01	0,001

Коэффициенты перехода ($K_{п}$) радионуклидов из суточного рациона в продукцию животноводства (в % на 1 кг (л) продукта)

Вид продукции	Радионуклиды	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Молоко коровье	0,62	0,14
в том числе:		
в стойловый период	0,48	0,14
в пастбищный период	0,74	0,10
Говядина	4	0,04
Свинина	25	0,14
Баранина	15	0,10
Мясо кур	50*	0,40*
Яйцо	3,5	3,20

* от содержания радионуклидов в 1 кг корма

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Фокин, А.Д. Сельскохозяйственная радиология: учебник. 2-е издание, перераб. и доп. /А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Торшин. – СПб.: Лань, 2011. – 416 с.
2. Лысенко, Н.П. Практикум по радиобиологии: учебное пособие /Н.П. Лысенко, В.В. Пак, Л.В. Рогожина и др. – М.: КолосС, 2008.- 399.

Дополнительная

3. Самсонова, Н.Е. Ионизирующая радиация и сельскохозяйственное производство: Учебное пособие / Н.Е. Самсонова, В.А. Кузьминская.– Смоленск: ФГОУ ВПО «Смоленская ГСХА», 2007.– 255 с.
4. Лысенко, Н.П. Ведение животноводства в условиях радиоактивного загрязнения среды: учебное пособие /Н.П. Лысенко, А.Д. Пастернак, Л.В. Рогожина [и др.].- СПб.: Лань, 2005.- 240 с.
5. Белов, А.Д. Радиобиология: Учебник / А.Д. Белов, В.А. Киршин, Н.П. Лысенко и др. [под ред. А.Д. Белова].– М.: Колос, 1999. – 384 с.
6. Козьмин, Г.В. Ведение сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения: учебное пособие / Г.В. Козьмин, С.В. Круглов, А.А. Курганов [и др.].– Обнинск: ОИАЭ, 1999.– 220 с.
7. Гудков, И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии: учебник/ И.Н. Гудков.– Киев: Изд-во УСХА, 1991.– 328 с.
8. Анненков, Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии: учебник / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева.– М.:Агропромиздат, 1991.–287 с.

Электронные ресурсы

<http://elibrary.ru/defaultx.asp> Научная электронная библиотека LIBRARY (книги, периодические издания);
<http://www.cnshb.ru/intra/> Терминал удаленного доступа ЦНСХБ РАН (электронная библиотека ЦНСХБ РАН; электронный каталог; полнотекстовые документы).

в) периодические издания

Вопросы радиационной безопасности.
Радиология – практика.
Ядерная и радиационная безопасность.
Экология и безопасность жизнедеятельности.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Физические основы радиологии. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом	4
2. Осаждение радионуклидов на почвенно-растительный покров и включение в биологический цикл. Дозиметрия	26
3. Радиочувствительность организмов. Биологическое действие ионизирующих излучений.	45
4. Прогнозирование и предотвращение накопления радиоактивных веществ в сельскохозяйственной продукции. Дезактивация продукции.	53
5. Задачи	68
<i>Ответы</i>	80
<i>Приложения</i>	83
<i>Рекомендуемая литература</i>	98

Учебное пособие

Самсонова Наталия Евгеньевна

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ РАДИОЛОГИЯ

СБОРНИК ТЕСТОВЫХ ВОПРОСОВ И ЗАДАЧ

Подписано в печать. Формат бумаги
Печ. л. Тираж экз. Заказ №

Библиотечно-издательский комплекс
ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА»
214000, г. Смоленск, ул. Б. Советская, 10/2