

Министерство сельского хозяйства РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Пермская государственная сельскохозяйственная академия
имени академика Д.Н. Прянишникова
Эколого-агрономический институт
Агрохимический факультет

Кафедра экологии

ОСНОВЫ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Рекомендовано УМО вузов Российской Федерации
по агрономическому образованию

Пермь 2009

Учебное пособие составлено зав. кафедрой экологии, доцентом,
к.х.н . Е.В. Пименовой.

Рецензенты: Зав. кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности
Пермского государственного университета, зав. отделом Ра-
диоэкологии ЕНИ при ПГУ, д.б.н., профессор Б.В. Тестов;
Начальник отдела оценки экологического состояния
территорий Уральского государственного научно-
исследовательского института региональных экологических
проблем, с.н.с., д.х.н. М.В. Зильберман.

Пособие предназначено для самостоятельной работы студентов и подго-
товки к экзамену по дисциплине «Основы сельскохозяйственной радиоэколо-
гии» для студентов очного и заочного обучения по специальности 320400 –
«Агроэкология». Некоторые разделы могут быть использованы студентами –
агроэкологами при изучении курса « Основы экотоксикологии ».

Пособие может быть использовано студентами очного и заочного обуче-
ния по специальности 310100 – «Агрохимия и агропочвоведение» при изуче-
нии курса « Сельскохозяйственная радиология»

Рекомендовано к изданию кафедрой экологии (протокол № 9 от 4 марта
2004 года) и методической комиссией агрохимического факультета (прото-
кол № 15 от 23 марта 2004года)

Рекомендовано Учебно –методическим объединением вузов Российской Феде-
рации по агрономическому образованию 6 апреля 2004 года в качестве учебного
пособия для студентов, обучающихся по агрономическим специальностям .

Отпечатано

Тираж 200 экз.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные и региональные техногенные загрязнения биосферы существенно обострили радиозэкологические проблемы устойчивого развития человеческого общества.

Для населения европейской части России особенно тяжелые и длительные последствия связаны с Чернобыльской катастрофой. В 19 регионах центральной России значительная часть сельского населения вынуждена жить и вести хозяйство в условиях более или менее значительных радионуклидных загрязнений. В некоторых хозяйствах уровень загрязнения достигает значений, при которых необходимо введение специальных мер и технологических приемов, снижающих дозовую нагрузку на население и поступление радионуклидов в продукты питания.

Уральский регион в настоящее время представляет собой высокоразвитый агропромышленный комплекс, который испытывает на себе самые разнообразные по генезису радиационные воздействия - как от природных источников, так и от предприятий ядерного топливного цикла. Тяжелейшая радиационная катастрофа в 1957 году на ПО «Маяк» оставила после себя Восточно-Уральский радиоактивный след. Кроме того, на территории региона было произведено 38 технологических ядерных взрывов, из них 5 с выбросом на поверхность.

Цель данного пособия - повышение уровня теоретических и практических знаний студентов специальности «Агроэкология» в области радиозэкологии. Государственным образовательным стандартом для будущих специалистов АПК предусмотрен курс «Основы сельскохозяйственной радиозэкологии», который включает основы курсов ядерной физики, радиобиологии, общей радиозэкологии, радиометрии и дозиметрии. Данное пособие включает только некоторые темы курса, недостаточно полно изложенные в общедоступных учебниках, но необходимые, с точки зрения автора, для грамотной оценки радиозэкологической ситуации. Поэтому большое внимание уделяется решению практических задач и обсуждению полученных результатов. В процессе решения задач студенты могут закрепить новые радиозэкологические понятия, единицы измерения и связь между ними.

Кроме того, в «Приложении» приведены справочные материалы, необходимые для решения различных задач по оценке радиационной ситуации (в том числе и на техногенно незагрязненной территории), по радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения, включая изотопные индикаторы, по радиозэкологическому нормированию и прогнозированию как дозовой нагрузки населения, так и возможности получения экологически чистой сельскохозяйственной продукции на определенной территории.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОАКТИВНОСТИ

1.1. СТРОЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА.

Атомное ядро состоит из двух типов частиц – протонов и нейтронов, которые имеют общее название *нуклон*, они в ядре могут превращаться друг в друга.

Заряд ядра определяется числом протонов Z , он соответствует порядковому номеру элемента в Периодической системе Д.И. Менделеева (приложение 1).

Массовое число A равно общему числу нуклонов – протонов Z и нейтронов N .

$$A = Z + N$$

При обозначении атомов обычно пользуются символом элемента, которому принадлежит атом, и указывают слева сверху массовое число A , а внизу – атомный (порядковый) номер Z в форме индексов A_ZX , где X – символ элемента. Например, ядро углерода ${}^{12}_6C$ содержит 12 нуклонов, из них 6 протонов; ядро натрия ${}^{23}_{11}Na$ имеет 23 нуклона, из них 11 протонов и т.д. Порядковый номер иногда опускают, так как символ элемента вполне определяет его место в периодической системе.

Нуклиды, имеющие одинаковое число протонов ($Z = \text{const}$), называются *изотопами*. Они различаются массовым числом (A), а значит, и числом нейтронов. Поэтому все изотопы принадлежат одному и тому же химическому элементу. Например, водород имеет три изотопа: протий – 1H_1 (обычно обозначается H), дейтерий – 2H_1 (D) и тритий – 3H_1 (T), из них только тритий радиоактивен.

Большинство (71 из 90) природных химических элементов представляют собой смесь двух-десяти изотопов.

Нуклиды с одинаковым массовым числом ($A = \text{const}$), называются *изобарами*. Изобары принадлежат разным химическим элементам. Например, триады природных изобаров: ${}^{40}_{18}Ar - {}^{40}_{19}K - {}^{40}_{20}Ca$, ${}^{50}_{22}Ti - {}^{50}_{23}V - {}^{50}_{24}Cr$.

Если нуклиды имеют одинаковые массовые числа ($A = \text{const}$) и одинаковое количество протонов ($Z = \text{const}$), но находятся в различном энергетическом состоянии, то они являются *ядерными изомерами*, например, ${}^{137}Ba$ и ${}^{137m}Ba$, ${}^{135}Cs$ и ${}^{135m}Cs$.

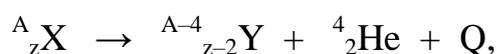
1.2. ВИДЫ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Радиоактивность – это самопроизвольный распад ядра со строго определенной вероятностью, сопровождающийся ядерным излучением.

Наиболее распространенными самопроизвольными ядерными превращениями являются альфа - и бета-распады. Иногда энергия возбужденного ядра может сниматься путем захвата орбитального электрона (ЭЗ). Если часть образующихся в результате распада ядер вначале находится в возбужденном состоянии, такое возбуждение снимается γ -излучением. Если время существования возбужденного изотопа велико, то иногда говорят о γ -распаде, то есть явлении *ядерной изомерии*. Для тяжелых ядер характерны процессы спонтанного деления ядер.

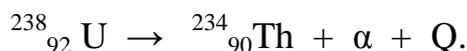
α - Распад характерен для тяжелых ядер с порядковым номером больше 82 ($Z=82$ для свинца). α - Частицы представляют собой ядро атома гелия.

Схему α - распада в общем виде можно представить следующим образом:



где Q – освобожденный избыток энергии.

Согласно правилу сдвига Фаянса–Содди, образующееся при альфа - распаде ядро соответствует химическому элементу, находящемуся в периодической системе на две клетки левее материнского. Например,



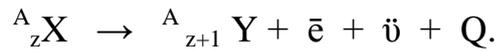
β -Распад. Термин « β -распад» относится ко всякому процессу радиоактивного распада, при котором Z изменяется на ± 1 , а массовое число остается неизменным (т.е. образуются изобары).

Известны три вида β -распада: β^- , β^+ -распады и электронный захват (ЭЗ).

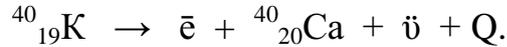
β^- - Распаду (электронному распаду) подвержены ядра с избытком нейтронов. При β^- -распаде ядро покидают две частицы: электрон (\bar{e}) и антинейтрино ($\bar{\nu}$). Как известно, в ядре свободных электронов нет, однако избыточный нейтрон может перейти в протон, в ходе этого процесса и рождается электрон внутри ядра



Согласно правилу сдвига Фаянса-Содди,



Таким образом, дочерний элемент сдвинут в Периодической системе Д.И. Менделеева на один номер вправо от исходного, массовое число остается без изменения.

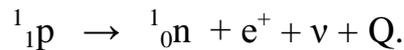


Этот тип распада наиболее распространен в природе.

β^+ -распад (позитронный распад) наблюдается, если неблагоприятное соотношение нейтронов и протонов в ядре обусловлено избытком протонов. Схема β^+ -распада следующая:

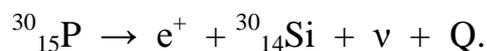
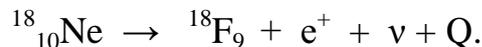


Физический смысл β^+ -распада – переход протона в нейтрон, при этом ядерное излучение составляет 2 частицы – позитрон (e^+) и нейтрино (ν).



Позитрон, вылетев из ядра, срывает с оболочки атома «лишний» электрон или взаимодействует со свободным электроном, образуя пару «позитрон-электрон», которая мгновенно превращается в два гамма-кванта (явление *аннигиляции* (уничтожения)). Таким образом, при позитронном распаде в конечном результате за пределы материнского атома вылетают не частицы, а два гамма-кванта.

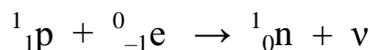
Пример β^+ -распада:



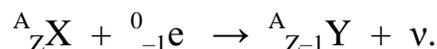
Заряд ядра и соответственно атомный номер элемента уменьшаются на единицу, и дочерний элемент будет занимать место в периодической системе Д.И. Менделеева на один номер левее от материнского; массовое число остается без изменения.

Электронный захват. Превращение ядра может быть осуществлено путем электронного захвата, когда один из протонов ядра захватывает электрон с одной из оболочек атома, чаще всего с ближайшего к нему *K*-слоя или реже (примерно в 100 раз) с *L*-слоя, и превращается в нейтрон. Такой процесс называют электрон-

ным K - или L -захватом. Протон превращается в нейтрон согласно следующей реакции:



Порядковый номер нового ядра становится на единицу меньше порядкового номера исходного ядра, а массовое число не меняется. Дочерний элемент в периодической системе элементов Д.И. Менделеева стоит на одну клетку левее материнского. Превращение ядер при K - захвате записывают в следующем виде:

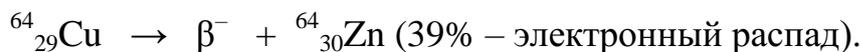
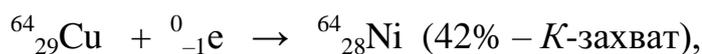
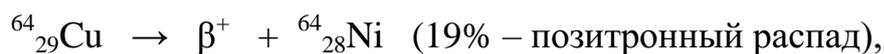


Например,



Позитронный распад и электронный захват, как правило, наблюдают только у искусственных радиоактивных изотопов.

Некоторые ядра могут распадаться двумя или тремя способами: путем альфа- и бета - распадов или альфа – распада и K - захвата , а иногда и одновременно по трем типам распада. В таких случаях превращения осуществляются в строго определенном соотношении. Например, у изотопа меди ${}^{64}_{29}\text{Cu}$ превращение в никель осуществляется путем позитронного распада и K - захвата, а в цинк – путем электронного распада:



Виды излучений для некоторых радионуклидов приведены в приложении 2.

1.3. РАДИОАКТИВНЫЕ РЯДЫ

Атом, образовавшийся в результате радиоактивного превращения, может сам оказаться радиоактивным и обладать собственным характерным излучением и периодом полураспада. Среди естественных радиоактивных веществ это явление является весьма распространенным.

Природные тяжелые радиоактивные элементы образуют три ряда генетически связанных между собой радионуклидов – так называемые радиоактивные семейства. Родоначальниками таких семейств являются ^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U (приложения 3,4,5). Каждый член ряда возникает из предыдущего и, в свою очередь, образует последующий. После целого ряда α - и β -превращений каждый из рядов заканчивается образованием стабильного изотопа свинца (^{206}Pb , ^{207}Pb и ^{208}Pb).

Массовые числа членов любого семейства меняются только при испускании α -частицы и, следовательно, могут быть выражены формулами $(4n+2)$ для семейства ^{238}U , $(4n+3)$ – для семейства ^{235}U и $4n$ – для семейства ^{232}Th .

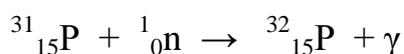
В радиоактивных семействах за время, соизмеримое с возрастом Земли, устанавливается радиоактивное равновесие: активности (см. раздел 4) каждого члена одного и того же ряда становятся одинаковыми. Это соотношение сохраняется, пока существует начальный член ряда. Концентрации дочерних продуктов при этом незначительны, например, на 1 грамм урана – 238 приходится 2×10^{-12} грамма радона – 222.

Радон является единственным газообразным продуктом, который рождается в процессе распада этих семейств. Наиболее опасны для человека и биоты радон-222 и радон-220 (последний очень часто называют “тороном” по имени исходного материнского нуклида). Высокий вклад торона и других дочерних продуктов распада тория-232 в облучение человека является спецификой формирования доз облучения населения Урала. Накопление торона и продуктов его распада в воздухе жилых помещений связано с повышенным содержанием тория в подстилающих породах и строительных материалах.

1.4. ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

В настоящее время радиоактивные изотопы можно получить при разнообразных ядерных реакциях с использованием в качестве бомбардирующих ядерных частиц протонов, дейтронов и нейтронов, а также гамма-квантов. При бомбардировке ядра-мишени стабильного элемента всеми вышеуказанными частицами происходит или превращение одного элемента в другой (трансмутация элементов), или же образуется изотоп исходного элемента. Образование новых элементов может быть подтверждено химическим анализом.

Реакции радиационного захвата, или *реакции активации* наблюдаются при столкновении потока медленных нейтронов со стабильными ядрами, которые захватывают их и превращаются в собственный радиоактивный изотоп. Например, изотоп природного фосфора $^{31}_{15}\text{P}$, широко используемый в методе изотопных индикаторов, можно получить при бомбардировке природного фосфора медленными нейтронами:

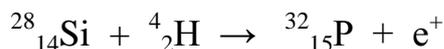


При этом ядро теряет часть избыточной энергии в форме γ -квантов.

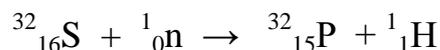
Такая реакция активации наблюдается у стабильных элементов, вызывая *наведенную радиоактивность*.

В ряде случаев один и тот же радиоактивный изотоп может быть получен при использовании различных ядерных реакций.

Например, указанный выше изотоп фосфора может быть получен при бомбардировке кремния α – частицами



При действии на стабильный изотоп серы медленными нейтронами из ядра вылетает протон и образуется тот же изотоп



В результате ядерных реакций в атмосфере образуется космогенные радионуклиды. Синтез ядер, которые используются в методе изотопных индикаторов в качестве метки, обычно проводят именно с помощью ядерных реакций.

1.5. ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Скорость, с которой распадаются радионуклиды, определяется только степенью нестабильности их ядер и не зависит от любых факторов, обычно влияющих на скорость физических и химических процессов (давления, температуры и др.). Распад каждого ядра – событие совершенно случайное, однако, при наличии достаточно большого числа радиоактивных атомов процесс распада подчиняется строгому статистическому закону – *закону радиоактивного распада*.

За единицу времени распадается всегда одна и та же часть имеющихся в наличии ядер вещества.

$$N_t = N_o e^{-\lambda t} \quad (1)$$

где N_o – исходное число радиоактивных атомов,

N_t – число радиоактивных атомов, оставшихся через интервал времени, t

λ - постоянная распада, характеризующая степень нестабильности данного радионуклида, доля атомов радионуклида, распадающихся за единицу времени, (в сек^{-1}).

Для практических расчетов часто используют не постоянную распада, а период полураспада изотопа.

Период полураспада ($T_{1/2}$) – время, в течение которого распадается половина исходного количества радиоактивных атомов. Следует иметь в виду, что за следующий период полураспада распадутся не все оставшиеся атомы, как можно было бы ожидать, а 50% от оставшихся, то есть 25% от первоначального их числа. Вероятность распада связана с периодом полураспада зависимостью:

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0,693 / T_{1/2}$$

или

$$T_{1/2} = 0,693 / \lambda$$

Периоды полураспадов некоторых изотопов приведены в приложении 2.

В графическом виде закон радиоактивного распада представляет собой экспоненциальную зависимость числа радиоактивных атомов от времени (рис.1).

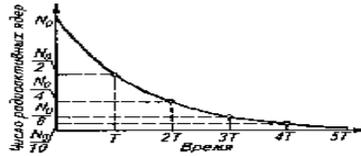


Рис. 1. Экспоненциальная кривая радиоактивного распада

Зная период полураспада радиоактивного изотопа, можно дать временной прогноз экологической ситуации на территории, загрязненной радионуклидами, а также прогнозировать время распада радиоактивной метки при использовании в экологических исследованиях метода изотопных индикаторов.

Радионуклиды практически никогда не встречаются в чистом виде. Обычно они находятся в смеси с нерадиоактивными веществами в ничтожных с химической точки зрения количествах, не поддающихся весовому определению. Поэтому мерой количества радиоактивного вещества служит не масса, а активность.

Активность — показатель, характеризующий число ядерных превращений за единицу времени.

В настоящее время общепринятой является системная единица радиоактивности — **беккерель** (Бк), равная одному распаду в секунду. До недавнего времени в качестве единицы радиоактивности использовали **кюри** (Ки) и производные кюри. 1 Кюри приблизительно равен радиоактивности 1 г чистого металлического радия.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

$$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{10} \text{ Ки}$$

В приборах радиационного контроля и радиационно-гигиенических нормах ранее использовались старые единицы, поэтому для оценки загрязнения территорий и оценки возможности получения на загрязненных землях радиационно-безопасной продукции сельского хозяйства наряду с беккерелями, рекомендованной системой СИ, необходимо уметь использовать и кюри и уметь переходить от одних единиц к другим.

В указанных единицах выражается активность α - и β -активных препаратов. При количественной характеристике радиоактивности широкое применение получило использование множителей и приставок (приложение 6). Концентрацию

радиоактивных веществ в исследуемых образцах обычно выражают в единицах активности на единицу массы или объема (кБк/кг, кБк/г, кБк/л, кБк/м³ и т.п.), а плотность радиоактивного загрязнения – в единицах активности на единицу площади (кБк/м², Ки/км²).

Радиоактивность радионуклида и его масса связаны следующим соотношением:

$$m = \frac{A \times M}{N_{\text{Авогадро}} \times \lambda} = \frac{A \times M \times T_{1/2}}{6,02 \times 10^{23} \times \ln 2} = \frac{A \times M \times T_{1/2}}{4,17 \times 10^{23}} \quad (2)$$

где A – радиоактивность, Бк

m – масса, г

M – атомная масса

λ – постоянная распада

$N_{\text{Авогадро}}$ – число Авогадро (число атомов в 1 грамм-атоме, $6,02 \cdot 10^{23}$)

$T_{1/2}$ – период полураспада, с.

С возрастанием периода полураспада масса радиоактивного материала при одной и той же активности возрастает.

Для решения практических задач в уравнении (1) число радиоактивных атомов можно заменить единицами активности, удельной активности, плотностью загрязнения в начальный момент времени и через время t , при этом если время и период полураспад выражено в одних единицах, то для расчетов можно воспользоваться специальной таблицей распада и накопления радиоактивных изотопов (приложение 6).

1.6. АБСОЛЮТНАЯ И ИЗМЕРЯЕМАЯ АКТИВНОСТИ

При работе с радиоактивными веществами измеряется обычно не скорость распада (так называемая *абсолютная активность* препарата), равная λN , а *измеренная активность* препарата $A_{\text{изм.}}$.

$$A_{\text{изм.}} = K_{\text{эфф.}} \times dN/dt = K_{\text{эфф.}} \times \lambda \times N,$$

где $K_{\text{эфф.}}$ – доля регистрируемых актов распадов из всех происшедших за определенное время, или так называемый *коэффициент эффективности счета*, который измеряется в долях от 1 ($K_{\text{эфф.}} \leq 1$) (он может быть выражен и в процентах, если число всех распадов за это время принять за 100%).

Для используемой измерительной аппаратуры скорости счета двух препаратов одного и того же нуклида, обычно измеряемые числом импульсов за минуту или часто за 100 секунд, пропорциональны количеству радионуклида в препарате. Поэтому, применяя эталон с известной активностью, можно определить активность препарата. Если в обоих измерениях $K_{\text{эфф.}}$ одинаковы, то отношение активностей равно отношению чисел атомов, содержащихся в двух препаратах радиоактивного вещества

$$A_1/A_2 = K_{\text{эфф.}} \lambda N_1 / K_{\text{эфф.}} \lambda N_2 = N_1/N_2.$$

Преимущество относительных измерений в их простоте, оперативности и удовлетворительной достоверности. Благодаря этому относительный метод широко применяют в практической радиометрии и научных исследованиях.

Коэффициент эффективности счета зависит от целого ряда факторов, поэтому эталон и исследуемые препараты должны иметь одинаковую форму, площадь и толщину активного слоя на одинаковом расстоянии относительно счетчика. Подложки, на которые нанесены измеряемые препараты, и эталон должны быть выполнены из одинакового материала и иметь одинаковую толщину. Все измерения надо проводить на одной установке с одним и тем же счетчиком.

Определение коэффициента эффективности счета приборов

В качестве эталона β - излучения может быть использован калий –40.

Для определения эффективности счета из хлорида калия, высушенного при 105 °С и тщательно растертого в ступке, готовят навески, которые помещают на стандартные подложки, уплотняют, выравнивают поверхность через кальку.

Пусть навеска будет 200 мг. Рассчитывают содержание К в этой навеске.

в 74,6 мг КСl – 39,1 мг К

в 200 мг КСl – x мг К

$$X = \frac{200 \times 39,1}{74,6} = 104,8 \text{ мг}$$

3. Природный калий содержит 0,0119% радиоактивного K^{40} . Определяют количество K^{40} во взятой навеске:

$$104,8 \times 0,000119 = 0,0125 \text{ мг}$$

4. Зная, что 1 мг ^{40}K дает $1,5 \times 10^4$ распадов в минуту, рассчитывают активность ^{40}K в навеске:

активность 1 мг $^{40}\text{K} = 1,5 \times 10^4$ расп./мин,

$$0,0125 \text{ мг } ^{40}\text{K} = A \text{ расп./мин}$$

$$A = 0,0125 \times 1,5 \times 10^4 = 187 \text{ расп./мин.}$$

При распаде ^{40}K только 88 % распадов сопровождается вылетом β -частиц. Рассчитывают активность эталона:

$$187 \times 0,88 = 164,6 \text{ расп./мин.}$$

Изготовленный эталон просчитывают на установке и определяют

эффективность счета $K_{эфф}$. Для этого:

- определяют скорость счета от фона $N_{ф.}$ (имп/мин),
- определяют скорость счета эталона вместе с фоном $N_{пр.}$ (имп/мин),
- рассчитывают скорость счета от эталона путем вычитания фона:

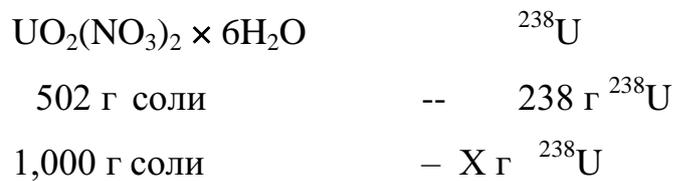
$$N_{эт.} = N_{пр.} - N_{ф.}$$

г) определяют $K_{эфф.} = N_{эт.} / A \times 100\%$,

где A – рассчитанная активность эталона.

В качестве эталона α - излучения также может быть использован уран –238.

1. Обычно берут азотнокислый уранил – $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$.
2. Пусть навеска будет 1,000г. Определяют содержание урана в навеске



$$X = 1,000 \times 238 : 502 = 0,4741 \text{ г.}$$

3. Определяют число активных атомов в навеске по закону Авогадро

1 грамм-атом, т.е. 238 г ^{238}U содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ атомов

0,4741 г ^{238}U содержит X атомов

$$X = 0,012 \cdot 10^{23} \text{ атомов}$$

4. Рассчитывают истинную активность препарата в распадах в минуту по формуле:

$$A = N \times \lambda, \text{ где } \lambda \text{ для } \text{U}^{238} = 3 \cdot 10^{-16}/\text{мин}$$

$$A = 0,012 \times 10^{23} \times 3 \times 10^{-16} = 0,036 \times 10^7 = 36 \cdot 10^4 \text{ распадов/мин.}$$

5. Далее рассчитывают коэффициент эффективности счета, как описано выше.

1.7. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1.1. Во время аварии на Чернобыльской АЭС в окружающую среду попало большое количество радиоактивного изотопа йода ^{131}I . За какое время суммарное количество изотопа ^{131}I уменьшится примерно в 1000 раз?

Решение. Известно, что период полураспада – время, за которое количество радионуклида уменьшится в 2 раза. Согласно закону радиоактивного распада, через два периода полураспада содержание йода уменьшится в $2^2 = 4$ раза, через три $T_{1/2}$ в $2^3 = 8$ раз, через четыре $T_{1/2}$ в $2^4 = 16$ раз, ... через десять $T_{1/2}$ в $2^{10} = 1024$ раза. Значит, чтобы количество радионуклида уменьшилось в 1000 раз, должно пройти около 10 периодов полураспада. В случае ^{131}I уже через $10 \cdot 8,1 = 81$ сутки количество радиоизотопа ^{131}I составит 0,1% от исходного, поэтому говорят о периоде «йодной атаки», например, после аварии на Чернобыльской АЭС.

Пример 1.2. Известно, что удельная активность раствора препарата ^{131}I на 10 мая составила 2,2 мКи/мл. Определите его активность 16 мая, если для ^{131}I $T_{1/2} = 8$ суток.

Решение. Прошло 6 дней с момента измерения активности. Период полураспада ^{131}I равен 8 дней, тогда $t/T = 6/8 = 0,75$. Находим это число в столбике «t/T» приложения 6 и соответствующее ему значение в столбике $e^{-\lambda t}$. Найденное значение 0,594 подставляем в уравнение (1):

$$N_t = N_o e^{-\lambda t} = 2,2 \times 0,594 = 1,31 \text{ мКи} / \text{мл}$$

Т.о., активность раствора 16 мая составит 1,31 мКи /мл.

Пример 1.3. Пусть загрязнение пахотных земель 80 Ки/км² по ^{137}Cs . Определите время, через которое данная территория может быть использована без ограничения, т.е. ее активность будет меньше 15 Ки/км² по ^{137}Cs .

Решение. Так как известно исходное и конечное загрязнение земель, рассчитываем:

$$e^{-\lambda t} = \frac{N_t}{N_o} = \frac{15}{80} = 0,1875 \sim 0,19$$

Находим данное значение в столбике приложения 6, получаем соответствующее ему значение $t/T = 2,40$. Так как период полураспада ^{137}Cs – 30,0 лет, следовательно, время

$$t = T \cdot 2,40 = 30,0 \cdot 2,40 = 72 \text{ (года)}$$

(единица измерения та же, что и у периода полураспада).

Пример 1. 4. Определить, какая масса иода-131 и урана-238 будет иметь радиоактивность 1Ки.

Решение. Находим в приложении 2 периоды полураспада, выражаем их в секундах. Рассчитываем массу по формуле (2), учитывая, что 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

$$m = \frac{A \times M \times T_{1/2}}{4,17 \times 10^{23}}$$

$$m_I = \frac{A \times M \times T_{1/2}}{4,17 \times 10^{23}} = \frac{3,7 \times 10^{10} \times 127 \times 8,06 \times 24 \times 60 \times 60}{4,17 \times 10^{23}} = 784726 \times 10^{-11} \text{ г} = 7,8 \text{ мкг}$$

$$m_U = \frac{3,7 \times 10^{10} \times 238 \times 4,47 \times 10^9 \times 3,65 \times 24 \times 60 \times 60}{4,17 \times 10^{23}} = 3 \times 10^6 \text{ г} = 3 \text{ тонны}$$

Т. о., одинаковой активностью в 1 кюри обладает 1 г радия (по определению кюри), 7,8 мкг йода-131 и 3 тонны урана-238.

Пример 1. 5. Определить, какая масса иода-131 была выброшена в окружающую среду при аварии на Чернобыльской АЭС, если его активность составляла $271 \cdot 10^{15}$ Бк []

Решение. Находим в приложении 2 период полураспада I-131.

$$T_{1/2} = 8,04 \text{ сут} = 694656 \text{ с.}$$

Рассчитываем массу по формуле (2)

$$m = \frac{271 \times 10^{15} \times 131 \times 694656}{4,17 \times 10^{23}} = 59,28 \text{ г}$$

1.8. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. В результате испытаний ядерного оружия или аварий на объектах ЯТЦ образуется более 200 радионуклидов. Однако более $2/3$ из них имеют период полураспада менее суток и поэтому практически не представляют опасности для загрязнения экосистем. Со временем их доля уменьшается, и начинают преобладать долгоживущие радионуклиды, в частности, цезий ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ лет) и стронций ^{90}Sr ($T_{1/2} = 29$ лет). Рассчитайте, сколько времени необходимо, чтобы содержание цезия ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ лет), попавшего в окружающую среду в результате массовых испытаний ядерного оружия в конце 50-х годов, уменьшилось как минимум в 10 раз?
2. Известно, что при курении в организм попадают такие опасные радионуклиды, как полоний-210, висмут-210, свинец-210, которые образуются в результате α - и β -распадов природного радона-222, находящегося в воздухе, и накапливаются на листьях табака. Напишите реакции их образования.
3. Какова активность препарата, если в течение 10 мин распадается 10 000 ядер этого вещества?
4. Возраст древних деревянных предметов можно приближенно определить по удельной массовой активности изотопа ^{14}C в них. Сколько лет тому назад было срублено дерево, которое пошло на изготовление предмета, если удельная массовая активность углерода в нем составляет $3/4$ от удельной массовой активности растущего дерева?
5. Известно, что при облучении ядер атомов азота ^{14}N потоком нейтронов может образоваться бор ^{11}B , углерод ^{14}C и литий ^7Li . Какие частицы сопровождают такого рода превращения?
6. Период полураспада радиоактивного фосфора ^{30}P равен 3 мин. Чему равна постоянная распада этого элемента?
7. Тяжелый изотоп водорода ^2D может вызвать превращение легкого изотопа лития ^6Li в тяжелый ^7Li . Какие частицы выделяются в результате этой реакции?

8. Облучая ядра атомов азота $^{14}_7\text{N}$ потоком α - частиц, получают изотоп кислорода ^{17}O . Какие частицы выделяются одновременно с кислородом в этой реакции?
9. В питательную среду размножения клеток вводили радиоактивный фосфор ^{32}P . В результате распада он превращается в атом серы ^{32}S . Укажите вид радиоактивного распада.
10. При облучении нейтронами опухоли, избирательно накопившей радиоактивный бор ^{10}B , образуется ^7Li и некоторое излучение, воздействующее на опухоль. Что это за излучение?
11. Препарат фосфора ^{32}P содержит нерадиоактивные примеси. Определите процентное соотношение радиоактивного и нерадиоактивного фосфора в 10 мг препарата, если его активность равна 25 мкКи.
12. В 1 мл морской воды содержится 10^{-15} г радона ^{226}Rn . Какое количество воды имеет активность, равную 10 мКи?
13. Во сколько раз уменьшится количество ядер радиоактивного цезия за 10 лет?
14. При первом измерении скорости радиоактивного распада некоторого элемента была получена величина 6000 β -частиц в минуту. Через сутки эта величина уменьшилась в 20 раз. Найдите период полураспада изотопа.
15. Нейтроны впервые были получены в лабораторных условиях при бомбардировке α -частицами ядер бериллия ^9_4Be . Запишите эту реакцию.
16. Через какой промежуток времени после радиоактивного заражения местности стронцием можно будет использовать земли для возделывания на них различных культур, если расчеты показывают, что количество радиоактивного изотопа в земле должно уменьшиться в 100 раз?
17. В ампуле находится радиоактивный йод ^{131}I активностью 100 мкКи. Чему будет равна активность препарата через сутки?
18. Написать реакции образования продуктов активации материалов активной зоны реактора: ^{65}Zn , ^{54}Mn , ^{51}Cr .
19. Написать реакцию образования продукта наведенной радиации на примере превращения стабильного природного изотопа железа в радиоактивное ^{59}Fe .

20. Написать реакцию образования из природного кобальта радиоактивного ^{60}Co , необходимого для создания «кобальтовых пушек», используемых в медицине для стерилизации медицинских материалов и для лечения раковых опухолей (лучевая терапия).
21. Написать реакцию образования космогенного углерода-14 из атома азота под действием нейтронов.
22. Определите время, за которое плотность загрязнения земли ^{137}Cs уменьшится в 250 раз.
23. Потребитель желает получить 5 мКи ^{56}Mn . Время доставки изотопа составляет 12 часов. Какова должна быть активность изотопа в момент отправления?
24. Сколько весит вещество с активностью 1 Ки: а) ^{238}U , б) ^{239}Pu , г) ^{32}P .
25. Через двое суток после получения препарата ^{24}Na его активность равнялась 1,1 мКи. Какова была его активность в момент получения?
26. Первый международный эталон радия был изготовлен М. Кюри в августе 1911 года и содержал 16,74 мг чистого радия. Какое количество радия содержится в этом эталоне в январе 2004 года?
27. Активность препарата фосфора-32 5 микрокюри. Какова она будет через неделю?
28. Определить процент усвоения растением фосфора из почвы, если в момент подкормки раствором пирофосфата магния удельная активность по фосфору-32 составила 0,45 мКи/г, а активность образца, полученного из золы растения по истечении 45 дней роста, составила 12500 имп/мин на 20 мг пирофосфата магния, коэффициент эффективности счета 0,2.
34. Период полураспада ^{42}K 12 часов. Во сколько раз уменьшится число радиоактивных атомов через двое суток?
35. Сельскохозяйственные земли загрязнены радиоактивным ^{90}Sr , период полураспада 27,7 лет. На сколько процентов уменьшится радиоактивность земель вследствие физического распада радиоизотопа через 55 лет?
37. Высокоактивные радиационные отходы содержат ^{239}Pu , период полураспада которого 24 тысячи лет. Через сколько лет радиоактивность уменьшится в 1000 раз и будет составлять 0,1% от первоначальной?

38. В результате аварии на Чернобыльской АЭС произошло загрязнение питьевой воды радиоактивным ^{131}I с периодом полураспада 8 дней. Во сколько раз уменьшилось загрязнение вследствие физического распада радионуклида через месяц (32 дня) после аварии?
39. Использование ^{32}P (период полураспада 14 дней) в качестве радиоактивной метки при проведении полевых исследований не приводит к значительному загрязнению атмосферы. Покажите, во сколько раз уменьшится радиоактивность вследствие физического распада через 2 месяца?
40. Сгущенное молоко загрязнено радиоизотопом ^{131}I с периодом полураспада 8 дней, и его радиоактивность превышает допустимые нормы в 50 раз. Через какое время продукт будет соответствовать нормам вследствие физического распада радионуклида?
42. Пусть загрязнение пахотных земель 80 кБк/км^2 по ^{137}Cs . Какое будет загрязнение земель через 3 года?
43. Рассчитать массу цезия – 137, попавшего в окружающую среду в результате аварии на Чернобыльской АЭС, если его активность $3,7 \times 10^{16}$ Бк.
44. Известно, что человек радиоактивен, т. к. в его теле есть естественные радионуклиды- ^{14}C , ^{40}K , уран, радий и продукты их распада и другие радиоактивные элементы. Рассчитайте, сколько распадов в минуту испытывает каждый грамм «живого» радиоактивного углерода и калия .
45. Согласно «Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99), удельная активность естественных радионуклидов в фосфорных удобрениях и мелиорантах не должна превышать

$$A_U + 1,5 A_{\text{Th}} \leq 4 \text{ кБк/кг},$$

где A_U и A_{Th} – удельные активности урана-238 (или радия –226) и тория- 232 (или тория- 228), находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого семейств соответственно. Можно ли использовать фосфорные удобрения, если A_U составляет $0,5 \text{ кБк/кг}$, а A_{Th} – 1 кБк/кг ?

2. ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

2.1. АКТИВНОСТЬ И ДОЗА.

Особенностью радиоактивного загрязнения окружающей среды в отличие от загрязнения другими поллютантами является то, что вредное воздействие на человека и объекты оказывает не сам радионуклид (поллютант), а излучение, источником которого он является. Наличие радионуклидов в объектах окружающей среды и продуктах питания определяет только потенциальную опасность облучения. Уровень реализации этой опасности определяется другой величиной-дозой облучения, которая оценивается для каждого человека индивидуально.

По этой причине используют две группы количественных показателей:

- 1) для оценки содержания радионуклидов – активность препарата
- 2) для оценки воздействия излучения на объект – дозы облучения



Если количество распадающихся атомов оценивают числом распадов в единицу времени, то величину действия излучения на окружающую среду и биоту – величиной действующей на них энергии. Эту энергию характеризуют дозой облучения. В общем виде под *дозой облучения*, или *дозовой нагрузкой* понимают меру суммарного воздействия ионизирующего излучения на человека, включая *внешнее облучение* от источников излучения, находящихся вне организма, и *внутреннее облучение* от источников излучения, попадающих в организм с воздухом, водой, пищей или другим путем.

2.2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ДОЗ

В настоящее время используются несколько видов доз, что обусловлено отсутствием линейной зависимости между количеством поглощенной радиации и величинами различных эффектов, возникающих в организме. Соотношения между единицами СИ и внесистемными единицами измерения активности и доз приведены в приложении 8.

На практике часто наряду с дозами используются мощности доз.

Мощность дозы - это отношение величины дозы ко времени, в течение которого данная доза была получена.

Наиболее простой способ оценки интенсивности рентгеновского и γ -излучения - экспозиционная доза.

Экспозиционная доза оценивается по величине ионизации воздуха, вызванной данными видами излучения благодаря передаче их энергии молекулам воздуха. Единица измерения экспозиционной дозы в системе СИ - 1 кулон/ кг.

$$1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

Длительное время эту дозу измеряли в рентгенах (Р). Рентген – доза рентгеновского или гамма-излучения, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия на 0,001293 г воздуха создает ионы, несущие заряд в 1 электростатическую единицу CGSE. Это соответствует $2 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 воздуха.

В последнем выпуске “Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности “ (ОСПОРБ-99) этой дозы не указано. Однако почти вся дозиметрическая аппаратура прежних лет, до сих пор широко используемая на практике, предназначена для измерения экспозиционной дозы рентгеновского и гамма- излучения и отградуирована в рентгенах.

Широко используется оценка природного радиационного фона в единицах экспозиционной дозы в мкР/ч.

Во всех случаях обнаружения участков местности с мощностью 60 мкР/час нужно немедленно ставить в известность районную и областную службы государственного санэпиднадзора!

Поглощенная доза – это поглощенная энергия излучения, рассчитанная на единицу массы облученного вещества. В системе Си за единицу поглощенной дозы принимают грэй (Гр). Доза в 1Гр возникает при поглощении энергии в 1 джоуль на 1 кг массы объекта.

Внесистемная единица поглощенной дозы - рад (radiation absorbent dose). Рад соответствует поглощению 100 эрг энергии в 1г облученного вещества.

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$$

Поглощенная доза (D) - фундаментальная дозиметрическая величина

Зная экспозиционную дозу, можно рассчитать дозу, поглощенную объектом.

Учитывая, что на создание 1 пары ионов в воздухе необходимо затратить энергию около 32,5 эВ, доза в 1 рентген энергетически эквивалентна 0,87 рад. Из-за другого химического состава энергетический эквивалент рентгена для воды и биологической ткани 0,96 рад (при расчетах часто используют 1,0).

Т.о., доза, поглощенная биологическим объектом, выраженная в радах, примерно равна дозе экспозиционной, выраженной в рентгенах

$$D \cong D_{\text{экспоз.}} \quad (5)$$

Эквивалентная доза. Экспериментальные исследования показывают, что величина биологического эффекта при облучении зависит от природы излучения (качества облучения). Сопоставление наблюдаемого биологического эффекта с поглощенной дозой требует ввести множители, учитывающие качество облучения. Такими множителями являются **взвешивающие коэффициенты** (W_R) каждого вида излучения, учитывающие **относительную биологическую эффективность (ОБЭ)** излучения.

Эквивалентная доза (H)–поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного излучения.

$$H = D \times W_R \quad (6)$$

ОБЭ двух излучений разного качества называют соотношением поглощенных доз, которые вызывают одинаковое биологическое действие. В качестве

эталонного излучения принято рентгеновское с энергией 200 кэВ. Единицей эквивалентной дозы раньше был бэр (биологический эквивалент рентгена)

$$1\text{бэр}=1\text{рад} \times W_R$$

В системе СИ за единицу эквивалентной дозы принят 1 зиверт

$$1\text{Зв} = 1\text{Гр} \times W_R = 100\text{бэр}$$

Взвешивающие коэффициенты, принятые в настоящее время для различных ионизирующих излучений, приведены в приложении 9.

Эффективная эквивалентная доза облучения. При комбинированном (внешнем и внутреннем) облучении биологического организма часто доза облучения отдельных органов и тканей сильно различается. В этом случае проводить сравнение эффектов облучения достаточно сложно. Поэтому для целей радиационной защиты и характеристики облучения в природных условиях и аварийных ситуациях введено понятие эффективной эквивалентной дозы-величины, используемой как меры риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности.

Эффективная эквивалентная доза облучения (E) – это сумма произведений эквивалентных доз в критических органах на соответствующие взвешивающие коэффициенты для данного органа или ткани W_T , которые приведены в приложении 10.

$$E = \sum H_i \times W_{Ti} \quad (7)$$

Единица измерения эффективной эквивалентной дозы - зиверт.

Доза эффективная коллективная. Рассмотренный способ расчета доз позволяет определять индивидуальную дозу облучения и прогнозировать биологические эффекты для отдельных организмов. Однако известно, что облучение обладает значительным мутагенным эффектом, вызывающим изменения наследственной информации. При излучении генетических последствий следует ориентироваться на дозу облучения значительной общности индивидов, которые имеют возможность скрещиваться. Для характеристики и прогнозирова-

ния генетических последствий используют понятие коллективной дозы облучения.

Коллективная доза равна сумме эквивалентных доз, полученных представителями некоторой общности людей (страны, региона, города) или животных. Коллективную дозу измеряют в человеко-зивертах, животное-зивертах.

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

2. 3. СВЯЗЬ МЕЖДУ ДОЗОЙ, СОЗДАВАЕМОЙ γ - ИЗЛУЧЕНИЕМ РАДИОАКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ, И ИХ АКТИВНОСТЬЮ

При γ -облучении биологических объектов (например, при работе человека в поле γ -излучения, при медицинских процедурах, радиостерилизации пищевых продуктов и др.) для определения полученной дозы или расчета условий безопасной работы и средств защиты важно знать не активность источника излучения, выраженную в кюри или беккерелях, а мощность дозы γ -излучения, которая создается γ -излучателями (Co^{60} , ^{137}Cs и др.). Для характеристики изотопов, распад которых сопровождается γ -излучением, введено понятие γ -постоянной.

Постоянная ионизации (или γ -постоянная) K_γ – это мощность дозы облучения для воздуха, измеряемая числом рентгенов в час на расстоянии 1 см от точечного источника активностью 1 мКи. Значения γ -постоянной для некоторых радионуклидов приведены в приложении 11.

Доза от источника с известной активностью вычисляется по формуле (8),

$$D_\gamma = K_\gamma \times \frac{A \times t}{R^2} \quad (8)$$

где D- доза, рентген,

R-расстояние от источника, см,

A - активность препарата, мКи

K_γ - γ -постоянная, $\text{см}^2 \times \text{Р} / \text{мКи} \times \text{ч}$

t-время, час.

Существуют четыре способа защиты биологических объектов от γ - облучения:

- защита активностью;
- защита временем;
- защита расстоянием (доза от точечного источника ослабевает по закону квадратов расстояния, поэтому этот фактор очень важен);
 - защита экраном (см. ниже).

По формуле 8 можно рассчитать:

а) активность источника, находящегося на определенном расстоянии., при работе с которым в течение заданного времени человек получит предельно допустимую дозу;

б) время работы с источником с известной активностью, находящимся на определенном расстоянии, в течение которого человек получит предельно допустимую дозу;

в) расстояние до источника с известной активностью, при работе с которым в течение заданного времени человек получит предельно допустимую дозу;

г) необходимую защиту от излучения. Если изменение выше указанных факторов не позволяет уменьшить дозу до нужного предела, необходимо использовать защиту с помощью экрана. Каждый экран в зависимости от материала, из которого он изготовлен, и толщины позволяет снизить рентгеновское или γ -излучение определенной энергии в известное число раз(т.н. кратность ослабления). Доза обратно пропорциональна данному коэффициенту экрана.

2. 4. СВЯЗЬ МЕЖДУ МОЩНОСТЬЮ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ И АКТИВНОСТЬЮ. ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ.

Разработан метод ориентировочного определения загрязнения сельскохозяйственной продукции путем измерения мощности экспозиционной дозы излучения от объекта с помощью различных полевых приборов - дозиметров, например, ДП-5А (Б. В) и СРП-68-01, и пересчета ее с помощью коэффициентов в единицы активности с использованием формулы

$$A = K \times (MД_{обр.} - MД_{фона}) \quad (9)$$

где A – удельная радиоактивность, Ки/кг, Бк/кг или Бк/л;

$MД_{обр.}$ – мощность γ -излучения, измеренная на расстоянии 1 – 1,5 см от объекта, мкР/ч;

$MД_{фона}$ – γ -фон на месте измерения, мкР/ч;

K – коэффициент перехода от мощности экспозиционной дозы (мкР/ч) к активности (Ки/кг, Бк/кг, Бк/л)

Величина коэффициентов зависит от изотопного состава радиоактивных осадков, вида объекта, его объема, массы и т.д. Действительные в настоящее время коэффициенты для прибора СРП –68 , установленные для следа аварийного выброса Чернобыльской АЭС, приведены в приложении 12.

Для более точного измерения, а также с целью исключения влияния на показания прибора других загрязненных объектов и повышенного γ -фона на зонд прибора надевается свинцовый экран.

γ -Фон на месте измерения не должен превышать 40 мкР/ч, так как показания прибора будут искажаться. Если уровень γ -фона превышает 40 мкР/ч (в период аварии на предприятиях атомной промышленности), проводят дезактивацию на месте измерения или находят здания, подвалы с низким γ -фоном.

Для расчета удельной активности тела животных, туш или полутуш мяса, контейнера или единицы складирования используют среднюю величину при измерении различных участков объекта.

Контроль качества сельскохозяйственной продукции данным методом предполагает сравнение полученных результатов не с Временными республиканскими нормами или СанПиИнами, в которых приводятся предельно допустимые уровни для ^{90}Sr и ^{137}Cs по отдельности, а со специальными нормами, разработанными с учетом возможной активности нескольких радионуклидов.

С помощью данного метода ветеринарный врач контролирует радиационную обстановку на объекте сельскохозяйственного производства как в обычное время, так и при авариях на предприятиях атомной промышленности.

Погрешность определения удельной радиоактивности в диапазоне $1 \cdot 10^{-8}$ – $1 \cdot 10^{-7}$ Ки/кг составляет 50%, поэтому данный метод является ориентировочным. При несоответствии качества продукции предъявляемым нормам производится повторный контроль в стационарных условиях с помощью радиометров.

2.5. НОРМЫ РАДИОАКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Предельно допустимые дозы ионизирующих излучений нормируется в нашей стране согласно регламентирующему документу “Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности “ (ОСПОРБ-99) . По НРБ-99 все жители страны разделяются на две категории: *персонал* (группа лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений по профессиональной необходимости) и *население*.

Для населения *основной дозовый предел* составляет **1 миллизиверт в год (1 мЗв/год)** в среднем за любые последовательные 5 лет (приложение 13).

Таким образом, НРБ-99 допускают получение дозы в 5мЗв за один год, если в последующие 4 года человек не будет получать дополнительной радиационной нагрузки. Указанный предел установлен для суммы внешнего и внутреннего облучения и не зависит от их соотношения.

Основной дозовый предел для персонала- **20 мЗв/год** (приложение 13). Исходя из предельной дозовой нагрузки для персонала 20 мЗв/год (что, согласно формуле 1, примерно соответствует 2000 мР/год,) и принимая дозу от внутренних источников близкой к нулю, можно рассчитать приблизительную дозу, которую работающий с источниками γ - излучения может получать каждый день при определенных условиях работы (см. примеры 2.3; 2.4).

Следует подчеркнуть, что дозовый предел для обеих категорий устанавливается сверх дозовых нагрузок, получаемых человеком от естественного радиационного фона (космическое излучение и излучение природных радионуклидов) и источников, применяемых в медицине, которые могут превышать 2,5мЗв в год, а также доз вследствие радиационных аварий. На эти виды облучений устанавливаются специальные ограничения.

Расчет дозовой нагрузки от естественного природного фона рассмотрен в примере 2.2.

Территории относятся к зонам радиоактивного загрязнения, если годовая эффективная доза от искусственных источников превышает 1 мЗв (или 5 мЗв за первый год после радиационной аварии).

2.6. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

При разработке российских гигиенических нормативов питьевой воды учитывают, что влияние питьевой воды на общую дозу не является преобладающей (за исключением отдельных регионов) и обусловлено в основном радионуклидами рядов урана и тория. В НРБ-99 в два раза уменьшены допуски на удельную активность отдельных радионуклидов (исходя из непревышения дозы 0,1 мЗв в год за счет питьевой воды), введен термин *уровень вмешательства* для воды ($УВ^{вода}$).

Уровень вмешательства – это уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия. При содержании природных и искусственных радионуклидов в питьевой воде, создающих эффективную дозу меньше 0,1 мЗв за год, не требуется проведение мероприятий по снижению ее радиоактивности. Этой дозе при потреблении воды 2 л в сутки соответствуют средние значения удельной активности за год (уровни вмешательства – УВ), приведенные в НРБ–99 (приложение 14).

Предварительная оценка допустимости использования воды для питьевых целей может быть дана по удельной суммарной A_{α} и A_{β} -активности, которая не должна превышать 0,1 и 1,0 Бк/кг, соответственно (приложение 15). В случае их превышения необходимо более детальный радионуклидный анализ воды.

Для питьевой воды подземных источников водоснабжения кроме того требуется определить удельную активность радона.

При совместном присутствии в воде нескольких радионуклидов должно выполняться условие:

$$\sum_i \frac{A_i}{УВ_i} \leq 1$$

где, A_i – удельная активность i -го радионуклида в воде,

$УВ_i$ – соответственный уровень вмешательства,

в этом случае эффективная доза от употребления воды меньше 0,1 мЗв за год. При невыполнении указанного условия должны осуществляться защитные действия.

2. 7. КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ИХ ТОКСИЧНОСТИ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

По степени биологического действия радионуклиды как потенциальные источники внутреннего облучения разделены на 5 групп.

Группа А – радионуклиды особо высокой токсичности. К данной группе относятся радиоактивные изотопы: ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{230}Th , ^{232}U , ^{238}Pu и др. Среднегодовая допустимая концентрация для них в воде установлена в пределах X (3,7 ...370 Бк/л), или X (10^{-10} ... 10^{-8} Ки/л).

Группа Б – радионуклиды с высокой радиотоксичностью, для которых среднегодовая допустимая концентрация в воде равна X (37 ...3700 Бк/л), или X (10^{-9} ... 10^{-7} Ки/л). Сюда относятся изотопы: ^{106}Ru , ^{131}I , ^{144}Ce , ^{210}Bi , ^{234}Th , ^{235}U , ^{241}Pu и др. к этой же группе отнесен ^{90}Sr , для которого указанная концентрация равна 14,8 Бк/л, или $4 \cdot 10^{-10}$ Ки/л.

Группа В – радионуклиды со средней радиотоксичностью. Для данной группы установлена среднегодовая допустимая концентрация в воде X (0,37 ...3,7 кБк/л), или X (10^{-8} ... 10^{-7} Ки/л). В группу включены изотопы: ^{22}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{45}Ca , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Y , ^{92}Mo , ^{125}Sb , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{96}Au и др.

Группа Г – радионуклиды с наименьшей радиотоксичностью. Среднегодовая допустимая концентрация их в воде равна X (0,37 ...3,7 кБк/л), или X (10^{-8} ... 10^{-7} Ки/л). В группу входят следующие изотопы: ^7Be , ^{14}C , ^{18}F , ^{57}Cr , ^{55}Fe , ^{64}Cu , ^{129}Te , ^{195}Pt , ^{197}Hg , ^{200}Tl и др.

Группа Д. Эту группу составляет тритий и его химические соединения (окись трития и сверхтяжелая вода). Допустимая концентрация трития в воде установлена 148 кБк/л ($4 \cdot 10^{-6}$ Ки/л).

На основе степени радиотоксичности предъявляют надлежащие санитарные требования при работе с соответствующим радиоактивным изотопом.

К особо токсичным относится ^{239}Pu . Его ПДК в воздухе рабочей зоны соответствует массовой концентрации около 3×10^{-14} г/л, или меньше 1 частицы в 1 л воздуха.

2.8. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 2. 1. Рассчитать поглощенные физическую и эквивалентную дозы от смешанного источника излучения, если доза от гамма-излучения 1 рад, от бета-излучения – 10 рад, от альфа-излучения – 1 рад и от быстрых нейтронов – 1 рад.

Решение: Находим суммарную поглощенную дозу

$$D = \sum D_i = 1 + 10 + 1 + 1 = 13 \text{ рад}$$

Рассчитываем эквивалентную дозу как сумму эквивалентных доз от каждого вида излучения, найденных по формуле 6; взвешивающие коэффициенты находим в приложении 9.

$$H = \sum H_i \times W_{Ri} = 1 \times 1 + 10 \times 1 + 1 \times 10 = 31 \text{ рад.}$$

Следовательно, эквивалентная доза оказывается в два с лишним раза больше физической.

Пример 2. 2. Средний природный γ - радиационный фон г. Перми в 2000 году составил 12 мкР/ч. Какую дозу внешнего облучения получил житель города за год? Сопоставьте эту величину с основным дозовым пределом.

Решение. Годовая экспозиционная доза составит

$$D_{\text{эксп}} = 12 \text{ мкР/ч} \times 24 \text{ ч/сут} \times 365 \text{ сут/год} = 105120 \text{ мкР/год} = 0,105 \text{ Р/год}$$

Учитывая энергетический эквивалент экспозиционной дозы для биологических тканей, рассчитываем поглощенную дозу за год (формула 5)

$$D = 0,105 \text{ рад} = 1,05 \times 10^{-3} \text{ Гр} = 0,105 \times 10^{-2} \text{ Гр} = 1,05 \text{ мГр}$$

Зная, что коэффициент качества для внешнего γ - излучения равен 1 (приложение 9), находим эквивалентную дозу за год по формуле 6

$$H = D \times W_R = 1,05 \times 1 = 1,05 \text{ мЗв,}$$

Эффективную дозу, полученную всем организмом за год, рассчитываем по формуле 7, взвешивающий коэффициент W_R для всего организма равен 1 (приложение 10)

$$E = D \times W_{R \text{ тела}} = 1,05 \times 1 = 1,05 \text{ мЗв}$$

Т.о., в 2000 году пермяки получили от естественных источников радиации дозу внешнего облучения 1,05 мЗв. Эта доза не нормируется НРБ и зависит от места жительства человека. Для пермяков она немного выше дозы, которую житель

города может, согласно основному дозовому пределу, получить от искусственных источников.

Пример 2. 3. Исходя из предельной дозовой нагрузки для персонала и принимая дозу от внутренних источников близкой к нулю, рассчитайте, с какой допустимой активностью источника γ - излучения ^{60}Co можно работать без защиты, если в году 50 рабочих недель, рабочая неделя 40 часов, а рабочее место лаборанта в 0,5 м от источника.

Решение. предельная дозовая нагрузка для персонала составляет 20 мЗв/год (приложение 13), что, согласно формуле 5, примерно соответствует 2 Р/год.

Коэффициент K_γ находим в приложении 11. Исходя из формулы 8 и переведя расстояние в см, а время в часы, рассчитываем предельно допустимую активность

$$D_\gamma = K_\gamma \times \frac{A \times t}{R^2}$$

$$A = 2 \times 50^2 / 13,5 \times 50 \times 40 = 0,185 \text{ мКи}$$

Пример 2. 4 . Исходя из предельной дозовой нагрузки для персонала и принимая дозу от внутренних источников близкой к нулю, рассчитайте, можно ли работать ежедневно по 30 минут без защиты с источником γ - излучения ^{140}Ba с активностью 45 мКи на расстоянии 0,5 м от источника., если в году 50 рабочих недель, рабочая неделя 5 дней.

Решение. предельная дозовая нагрузка для персонала составляет 20 мЗв/год (приложение 12), что, согласно формуле 5, примерно соответствует 2 Р/год. Коэффициент K_γ находим в приложении 11. Исходя из формулы 8 и переведя расстояние в см, а время в часы, рассчитываем полученную дозу

$$D_\gamma = K_\gamma \times \frac{A_t}{R^2}$$

$$D_\gamma = 1,094 \times 45 \times 50 \times 5 \times 0,5 / 50^2 = 2,46 \text{ Р.}$$

Т.о., полученная доза превышает дозовый предел; необходимо изменить условия работы.

Пример 2.5. . Определите, можно ли использовать молоко без переработки, если мощность экспозиционной дозы этого молока, измеренная в цистерне, составила 42 мкР/ч. Уровень γ – фона на месте измерения составил 20 мкР/ч . Допустимое загрязнение молока 1×10^{-8} Ки/кг.

Решение. Определяем активность молока, обусловленную находящимися в нем радионуклидами, по формуле 9.

Коэффициент перерасчета находим в приложении 12.

$$A = K \times (MД_{обр.} - MД_{фона}) = 0,12 \times 10^{-7} \times (42 - 20) = 2,64 \times 10^{-7} \text{ Ки/кг} = 26,7 \times 10^{-8} \text{ Ки/кг}$$

Т.о., активность молока выше допустимой. Молоко должно быть проанализировано на радиометре, при подтверждении загрязнения должно быть принято решение о возможности его использования для переработки .

Пример 2.6. Мощность экспозиционной дозы коровы, измеренная со свинцовым экраном в четырех точках, составила 58, 58, 60 и 64 мкР/ч. Уровень γ – фона на месте измерения составил 22 мкР/ч. Определите, можно ли производить убой этой коровы? Допустимое загрязнение мяса 8×10^{-8} Ки/кг.

Решение. Находим среднюю мощность экспозиционной дозы коровы.

$$58 + 58 + 60 + 64 = 240 / 4 = 60 \text{ мкР/ч.}$$

Определяем активность мяса, обусловленной радионуклидами в организме коровы, по формуле 9. Коэффициент перерасчета находим в приложении 12.

$$A = K \times (MД_{обр.} - MД_{фона}) = 0,4 \times 10^{-8} \times (60 - 22) = 14,2 \times 10^{-8} \text{ Ки/кг}$$

Т.о., предварительный анализ показывает загрязненность коровы. В данное время убой коровы производить нецелесообразно. Корову по возможности переводят на кормление чистыми кормами и проводят повторный анализ через некоторое время.

Пример 2.7. Установите соответствие питьевой воды критериям радиационной безопасности. При выполнении анализа питьевой воды было установлено, что $A_{\alpha} = 0,27$ Бк/кг, а $A_{\beta} = 0,18$ Бк/кг. Так как превышен уровень суммарной альфа-активности, в пробе определили содержание ^{210}Po - 0,012 Бк/кг; ^{210}Pb - 0,02 Бк/кг; ^{226}Ra - 0,017 Бк/кг и ^{228}Ra - 0,05 Бк/кг.

Решение. Находим в приложении 15 уровни вмешательства для каждого нуклида и проверяем выполнение условия допустимого присутствия радионуклидов с учетом эффекта их суммации по радиационному признаку вредности

$$\sum_i \frac{A_i}{VB_i} = \frac{0,012}{0,012} + \frac{0,020}{0,20} + \frac{0,117}{0,50} + \frac{0,050}{0,20} = 0,82 < 1$$

Доза, соответствующая этому значению, <0,1 мЗв/год. Вода пригодна, никакие дополнительные действия не требуются; для данного водоисточника рекомендуется установить местный контрольный уровень суммарной α – активности 0,27 Бк/кг.

2.9. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. При исследовании радиочувствительности крыс облучали рентгеновскими лучами в течение 4 ч. При этом полученная ими суммарная доза составила 300 бэр. Найдите мощность экспозиционной и поглощенной дозы в этом эксперименте (в единицах СИ).
2. В результате аварии на Сибирском химкомбинате (Томск-5) в апреле 1993 года в окружающую среду произошел выброс радионуклидов. В районе ближайшей деревни Георгиевка радиационный фон составил 25 мкР/ч. Рассчитайте, какую эффективную дозу от внешнего облучения получит житель этой деревни за год?
3. В некоторых областях с повышенным содержанием естественных природных радиоизотопов (Индия, Бразилия) естественный внешний фон составляет
4. 380 мрад/год. Рассчитайте мощность экспозиционной дозы, которую будут
5. показывать в этих районах приборы ДРГ-1.
6. Средняя мощность радиации у цветного телевизора составляет 40-50 мкР/час. Пусть эта мощность дозы измерена на расстоянии 0,5 см от экрана. Рассчитайте, во сколько раз уменьшается доза, если смотреть телевизор на расстоянии 2,5 м? Какую эффективную дозу получит человек за год, если он смотрит телевизор каждый день по 2 часа? Радиация телевизора обусловлена тормозным рентгеновским излучением, возникающим при торможении потока электронов в электронной трубке.
7. В начале прошлого века были широко распространены часы со светящимся циферблатом, в которых в качестве фосфоресцентного материала содержался радий ^{226}Ra , являющийся смешанным α – и γ – излучателем. Активность радия составляла 0,015-4,4 мКи. Принимая для наручных часов активность минимальной (0,015 мКи), рассчитайте, какую эффективную дозу получала за год мышечная ткань кисти (примите расстояние до источника 0,5 см) и гонады (примите расстояние до источника 20 см). Время ношения часов 10 часов в сутки.
8. Исходя из предельной дозовой нагрузки для персонала, рассчитайте

предельно допустимое время каждодневного пребывания в зоне γ - лучей, если рентгенометр показывает 10 мкР/сек . Примите, что в году 50 рабочих недель, рабочая неделя 5 дней.

9. Исходя из предельной дозовой нагрузки для персонала и принимая дозу от внутренних источников близкой к нулю, рассчитайте, можно ли работать ежедневно по 30 минут без защиты с источником γ - излучения ^{60}Co с активностью 15 мКи на расстоянии 1 м от источника., если в году 50 рабочих недель, рабочая неделя 5 дней.
10. Определите возможность использования зеленой массы на корм скоту, если мощность экспозиционной дозы составила 47 мкР/ч . Уровень γ - фона на месте измерения составил 12 мкР/ч . Коэффициент перерасчета мкР/ч в Ки/кг для зеленой массы 1×10^{-6} . Допустимое содержание радионуклидов в зеленой массе для молочного скота $3 \times 10^{-5} \text{ Ки/кг}$, для мясного скота $8 \times 10^{-5} \text{ Ки/кг}$.
11. Определите, можно ли использовать картофель без переработки, если мощность экспозиционной дозы при измерении в трехлитровом сосуде Мари-нелли составила 18 мкР/ч . Уровень γ - фона на месте измерения составил 15 мкР/ч . Допустимое загрязнение картофеля $2 \times 10^{-8} \text{ Ки/кг}$.
12. Определите, можно ли использовать ягоды без переработки, если мощность экспозиционной дозы при измерении в трехлитровом сосуде Маринелли составила 21 мкР/ч . Уровень γ - фона на месте измерения составил 13 мкР/ч . Допустимое загрязнение ягод $5 \times 10^{-8} \text{ Ки/кг}$.
13. Мощность экспозиционной дозы γ -излучения на расстоянии 1 м от источника составляет $0,1 \text{ Р/мин}$. Рабочий находится 6 ч в день на расстоянии 10 м от источника. Какую эквивалентную дозу облучения он получает за один рабочий день?
14. Какую экспозиционную дозу создает препарат радиоактивного кобальта с активностью 10 Ки за 30 мин на расстоянии 2 м ?
15. Мощность экспозиционной дозы на расстоянии 10 см от источника составляет 85 мР/ч . На каком расстоянии от источника можно находиться без защиты, если допустимая мощность дозы равна $0,017 \text{ мР/ч}$?

16. Препарат радия ^{220}Ra с начальной активностью 0,5 Ки хранился в течение двух лет. Чему равна мощность экспозиционной дозы излучения препарата на расстоянии 2 м по истечении этого срока?
17. К установке, предназначенной для хронического облучения растений на опытном поле, транспортируется в свинцовом контейнере точечный источник ^{137}Cs активностью 100 ГБк. Какую дозу получит сопровождающий, находящийся на расстоянии 1 м от него, за 2 часа транспортировки? Кратность ослабления γ -излучения свинцовыми стенками контейнера толщиной 20 см примите за 100.

3. ПРОЖИВАНИЕ И ВЕДЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ

3.1. ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

При ведении хозяйства на загрязненных при радиационных авариях территориях в отдаленный период наибольшую опасность для человека представляют радионуклиды цезия ^{137}Cs и стронция ^{90}Sr , которые являются долгоживущими и отличаются особой подвижностью в биосфере, в том числе и в агроэкосистемах, а также способностью накапливаться в звеньях трофических цепей. Исходными данными для оценки уровня загрязнения почвы данными радионуклидами являются плотности поверхностного загрязнения a_s , Ки/км² или кБк/м² (соотношения между внесистемными единицами излучений и доз и единицами в системе СИ приведены в приложении 8), которые можно получить из результатов радиоэкологического обследования (мониторинга) данной территории. Данная информация может быть представлена в виде крупномасштабной карты (масштаб не ниже 1:25 0000), которая отражала бы пестроту загрязнений не только в пределах одного крупного хозяйства, но и одного поля. Радиоэкологическая информация может быть представлена также в единицах удельной активности почвы a_n , Бк/кг. Принимая массу пахотного слоя почвы площадью в 1 км² равной 3×10^8 кг и учитывая, что 1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк (приложение 2), находят пересчетный коэффициент для перехода от удельной активности почвы к плотности загрязнения

$$1 \text{ Ки} / \text{км}^2 = \frac{3,7 \times 10^{10} \text{ Бк} / \text{Ки}}{3 \times 10^8 \text{ кг} / \text{км}^2} = 123 \text{ Бк} / \text{кг} \quad (10)$$

Имея данные о загрязнении радионуклидами исследуемой территории, можно при определенных допущениях приблизительно рассчитать уровни загрязнения продукции, а также оценить возможность сельскохозяйственного производства на заданной территории и разработать систему мероприятий, направленных на снижение загрязнения продукции и уменьшение воздействия радиации на организм человека.

3.2. ОБЛУЧЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Суммарная доза облучения человека, проживающего на территории, загрязненной радионуклидами, включает воздействие от:

- естественных источников радиации - природного радиационного фона;
- искусственных источников радиации - излучения радионуклидов-загрязнителей окружающей среды.

Суммарное воздействие ионизирующего излучения на человека от искусственных радионуклидов складывается из *внешнего облучения* от источников излучения, находящихся вне человека, и *внутреннего облучения* от источников излучения, попадающих в организм человека с воздухом, водой, пищей или другими путями (рис.1).



Рис.1. Составляющие суммарной дозы облучения человека от искусственных источников радиации. Пунктирной линией выделены главные пути поступления радионуклидов внутрь организма человека.

3.2.1. ОЦЕНКА ДОЗЫ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Величина дозы внешнего облучения человека зависит от целого ряда факторов: вида и энергии излучения радионуклида, количества радионуклида в окружающей среде, распределения радионуклида в слое почвы, времени нахождения человека на открытой территории, наличия защитных сооружений, расстояния от загрязненной поверхности и др.

Основным источником внешнего облучения человека, проживающего на территориях, загрязненных искусственными радионуклидами в результате техногенных катастроф прошлых лет, является ^{137}Cs , распад которого, наряду с β -излучением средней жесткости, сопровождается высокопроникающим γ -излучением. Данный радионуклид является главным загрязнителем территорий, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Другие долгоживущие радионуклиды, такие, как стронций и плутоний, не представляют опасности при внешнем облучении, так как ^{90}Sr является источником только β -излучения, а ^{239}Pu - α -излучения, имеющих низкую проникающую способность (однако они опасны как источники внутреннего облучения, кроме того, плутоний является токсичным элементом).

Для расчета дозы внешнего облучения часто используют эмпирическую зависимость средней годовой дозы облучения человека от плотности поверхностного загрязнения территории

$$D_{\text{внешн.}} = 0,1 \times a_s \quad (11)$$

где $D_{\text{внешн.}}$ - годовая доза от внешнего облучения, мЗв/год;

0,1 – эмпирический коэффициент перехода от $\text{Ки}/\text{км}^2$ к мЗв /год;

a_s - плотность поверхностного загрязнения территории, $\text{Ки}/\text{км}^2$.

Это соотношение предполагает выполнение следующих условий:

- 1) единственным источником внешнего облучения является γ -излучение ^{137}Cs ;

- 2) радионуклид равномерно распределен в верхнем слое почвы толщиной 20 см;
- 3) учитывается ослабление потока излучения при прохождении этого слоя,
- 4) учитываются усредненные условия проживания человека.

Существуют и более точные формулы, которые учитывают время пребывания человека на открытом воздухе, а также наличие искусственных или естественных преград, экранирующих излучение (нахождение человека в кирпичном здании снижает дозу облучения примерно в 10 раз, а в деревянном здании – только в 3 раза).

3.2.2. ОЦЕНКА ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Основными источниками внутреннего облучения человека, проживающего на загрязненных территориях, являются ^{137}Cs и ^{90}Sr , поступающие в организм человека с продуктами питания, питьевой водой, вдыхаемым воздухом или через нарушения в кожных покровах (рис.1).

Спустя некоторое время после аварии подавляющее количество радионуклидов оказывается локализованным в верхнем слое почвы. Поэтому главным источником внутреннего облучения человека становятся продукты питания, полученные из сельскохозяйственного сырья с загрязненных территорий, а поступление радионуклидов в организм человека с питьевой водой, воздухом или через кожные покровы имеет второстепенное значение и в приведенных ниже расчетах и прогнозах учитываться не будет.

Расчет дозы внутреннего облучения человека основан на использовании дозовых коэффициентов, установленных «Нормами радиационной безопасности» (НРБ-99).

Дозовый коэффициент K_D - величина ожидаемой эффективной дозы облучения человека при поступлении 1 Бк данного радионуклида при определенном пути поступления в организм.

Для каждого радионуклида характерны свои вид и энергия излучения, период полураспада, физические и химические свойства, место локализации в организме человека, участие в обменных процессах, эффективный период полувыведения из организма и др. Ожидаемая доза облучения зависит как от природы радионуклида, так и от путей поступления его в живой организм - через органы дыхания или пищеварения. Значения дозовых коэффициентов для некоторых радионуклидов приведены в приложении 16.

Если известна общая активность данного радионуклида, поступающего в организм человека, можно рассчитать дозу внутреннего облучения:

$$D_{\text{внутр.}} = A \times K_D \quad (12)$$

где A - активность радионуклида, поступающего в организм человека, Бк;

K_D - дозовый коэффициент, мкЗв/Бк.

Для расчета активности радионуклидов, поступающих в организм человека за год, используют *метод коэффициентов накопления или коэффициентов перехода*. Он основывается на рассмотрении всего пути радионуклида из почвы - через растения и животных - в организм человека по установленным трофическим и технологическим цепям. Перенос радионуклида от одного звена цепи к другому характеризуется определенными значениями коэффициентов накопления или коэффициентов перехода (см. раздел 3.3.). Для расчетов используется упрощенный рацион питания человека (приложение 17), включающий 5 основных продуктов (показано, что с ними в нашей стране в организм человека поступает около 90 % радионуклидов).

На последнем этапе суммируются дозы внешнего и внутреннего облучения человека от разных радионуклидов и продуктов питания, и эта величина - суммарная годовая доза облучения человека - сравнивается с основным дозовым пределом для населения (1 мЗв/год, приложение 13).

3.3. ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ РАДИОНУКЛИДАМИ

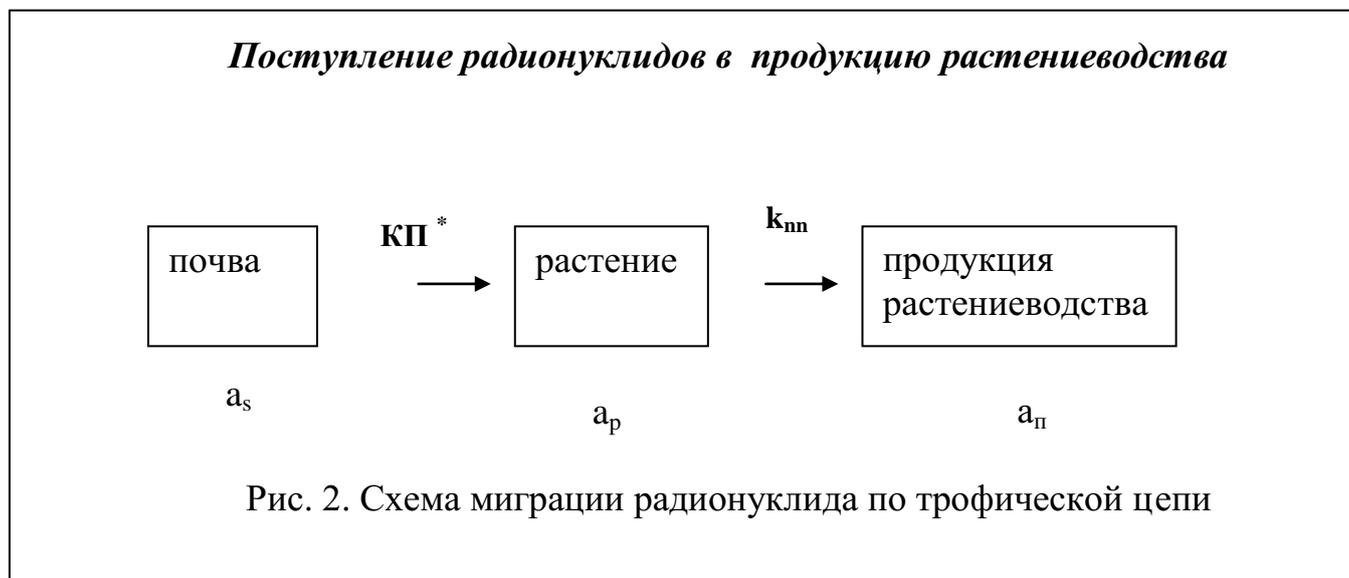
3.3.1. ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРИТОРИИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА

Для прогнозных оценок радиоэкологического качества сельскохозяйственной продукции необходим определенный минимум исходной информации, без которого прогноз невозможен. Рассмотрим основные показатели и характеристики.

1. Характеристика почвенного покрова территории. В первую очередь необходимо знать тип почв, гранулометрический состав, а также результаты агрохимического обследования почв, а именно реакцию почвенной вытяжки и содержание обменного кальция и калия, т.к. от этих свойств существенно зависит поступление радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в сельскохозяйственные растения. Важно иметь характеристику не только пахотных почв, но и сенокосно-пастбищных угодий.
2. Сведения о направлении хозяйственной деятельности предприятия, соотношения в производстве растениеводческой и животноводческой продукции.
3. Сведения о структуре посевных площадей и севооборотах, а также их размещении на территории.
4. Сведения о животноводческом цехе хозяйства, его направлении, формировании кормовой базы, рационах питания в стойловый и пастбищный периоды. Особенно важно для прогноза иметь данные по использованию трав с естественных угодий и пахотных почв.

3.3.2. ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассмотрим возможное загрязнение продукции растениеводства (рис.2)



В данной схеме используются следующие обозначения:

- a_s - плотность поверхностного загрязнения почвы (Ки/км²) - активность радионуклида, равномерно распределенного в слое почвы 20 см на площади в 1 км²;
- a_p - ожидаемое содержание радионуклида в хозяйственной части урожая при заданной плотности поверхностного загрязнения a_s (удельная активность, Бк/кг);
- $a_{пр}$ - содержание радионуклида в продукции растениеводства (удельная активность Бк/кг) после переработки;

Для расчета данных величин используются следующие коэффициенты:

$KП^*$ - коэффициент перехода, характеризующий поступление радионуклида из почвы в растения. Количественно, $KП^*$ - это содержание радионуклида в хозяйственной части урожая (обычно в Бк/кг, но может быть и в нКи/кг) при плотности поверхностного загрязнения, равной единице (обычно Ки/км², но может быть и кБк/м²).

$$KП^* = a_p/a_s \quad (13)$$

Данные коэффициенты перехода зависят от типа и гранулометрического состава почв, содержания обменного калия и реакции почвенной среды и различны для разных культур и разных частей растения. В приложениях 19,20 приведены усредненные коэффициенты перехода для ^{137}Cs и ^{90}Sr для некоторых типов почв.

Чтобы учесть изменение содержания радионуклида в готовой продукции по сравнению с урожаем в процессе его переработки, вводят т.н. коэффициент потерь радионуклида в процессе переработки растительной продукции, характеризующий переход радионуклида из товарной части растения в готовую продукцию ($k_{\text{пр}}$)

$$k_{\text{пр}} = a_{\text{пр}} / a_{\text{р}} \quad (14)$$

Значения $k_{\text{пр}}$ приведены в приложении 20. Зная эти величины, можно рассчитать активность радионуклида в 1 кг готовой продукции при заданной плотности поверхностного загрязнения:

$$a_{\text{пр}} = a_{\text{р}} \times k_{\text{пр}} = a_{\text{с}} \times \text{КП}^* \times k_{\text{пр}} \quad (15)$$

На этапе оценки полученных результатов уровни загрязнения продуктов питания сравнивают с Временными республиканскими допустимыми уровнями (приложение 21 или Санитарными правилами и нормами СанПиН-96 (приложение 22), а уровни загрязнения кормов – с контрольными нормами загрязнения кормов (приложение 23).

Для получения более точных результатов используют метод проростков. Берут образцы почв с глубины пахотного слоя конкретного поля, тщательно их перемешивают и затем на таком усредненном образце высевают проращенные семена. Через 20 дней надземную массу растений срезают на уровне почвы, промывают в проточной воде, высушивают и в воздушно-сухом материале определяют содержание радионуклидов. Ожидаемую загрязненность урожая находят по коэффициентам пересчета (приложение 24), позволяющим по результатам загрязненности 20-дневных растений рассчитать содержание радионуклидов в конечной продукции. Метод проростков не требует предварительного анализа на содержание в почве обменных форм радионуклидов, а также проведения агрохимических исследований.

$A_{\text{сут}}$ – ожидаемое содержание радионуклида в отдельных кормах, потребляемых сельскохозяйственными животными за сутки, Бк /сутки;

$\Sigma A_{\text{сут}}$ – ожидаемое содержание радионуклида во всем рационе кормов, потребляемом за сутки, Бк /сутки;

$a_{\text{пр}}$ – содержание радионуклида в продукции животноводства (удельная активность, Бк/кг).

Для расчета данных величин используются следующие коэффициенты:

КП* - коэффициент перехода радионуклида в кормовые растения. Значения КП* приведены в приложениях 21,22 , а контрольные уровни содержания радионуклидов в кормах в приложении 23.

Ожидаемое содержание радионуклида в кормовых растениях при заданной плотности поверхностного загрязнения можно рассчитать по формуле 16:

$$a_p = a_s \cdot \text{КП}^* \quad (16)$$

Для расчета уровня загрязнения радионуклидами продукции животноводства при использовании загрязненных кормов используют коэффициенты перехода радионуклида из суточного рациона кормов в 1 кг или 1 литр животноводческой продукции $\text{КП}_{\text{рац}}$, при этом данный коэффициент учитывает такое важное звено технологической цепи, как сельскохозяйственные животные.

Значения коэффициентов перехода $\text{КП}_{\text{рац}}$ приведены в приложении 25, а один из возможных суточных рационов кормления животных в приложении 26.

$$\text{КП}_{\text{рац}} = a_{\text{пр}} / \Sigma A_{\text{сут}} \quad (17)$$

Коэффициенты перехода показывают, что ^{137}Cs более интенсивно переходит из кормов в молоко и мясо по сравнению с ^{90}Sr .

Эти коэффициенты ориентировочные, т.к. размеры перехода радионуклидов из корма в продукцию животноводства зависят от формы и состояния их в растениях, длительности поступления в организм, возраста животных, их физиологического состояния, способа содержания, типа питания и других факторов.

Большое значение имеет возраст животного, потребляющего радиоактивный корм: молодые животные гораздо активнее накапливают радионуклиды, чем взрослые и старые, что, безусловно, связано с особенностями и интенсивностью

обмена веществ в молодом растущем организме. Эти различия при хроническом поступлении радионуклидов с кормом у животных разных возрастных групп колеблются от 2,3 до 21,1 раза.

Для расчета содержания радионуклидов в животноводческой продукции необходимо сначала суммировать содержание радионуклидов во всех компонентах суточного рациона кормов (n):

$$\Sigma A_{\text{сут}} = (a_p \cdot \text{CP})_1 + (a_p \cdot \text{CP})_2 + (a_p \cdot \text{CP})_3 + \dots + (a_p \cdot \text{CP})_n, \quad (18)$$

а затем учесть КП_{рац} для данного вида животноводческой продукции:

$$a_{\text{пр}} = \Sigma A_{\text{сут}} \cdot \text{КП}_{\text{рац}} \quad (19)$$

Дозу внутреннего облучения человека от потребления продукции растениеводства и животноводства можно рассчитать, используя упрощенный рацион питания человека (приложение 17). Расчет проводится для ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr отдельно по всем видам продукции, входящим в рацион, а затем дозы облучения суммируются.

3.4. ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В основе стратегии защитных мероприятий в агропромышленном комплексе (АПК) лежат следующие основные положения:

- обеспечение радиационной безопасности населения;
- организация и проведение мероприятий по снижению потерь в АПК;
- организация рационального ведения сельского хозяйства, обеспечивающего производство «чистой» сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей ВДУ (приложение 21).
- снижение индивидуальных и коллективной доз облучения населения за счет ограничения содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции;
- реабилитация земель.

На загрязненных территориях, где разрешено проживание и ведение хозяйственной деятельности, необходимы контрмеры - специальные защитные мероприятия, направленные на снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. Кроме различных традиционных агротехнических и агрохимических мероприятий, мероприятий по улучшению лугов и пастбищ и специальных зоотехнических мероприятий, позволяющих получать «чистую» продукцию животноводства, иногда становятся необходимыми организационные контрмеры, которые касаются изменения землепользования и перепрофилирования хозяйств. Они включают увеличение площадей сельскохозяйственных угодий, занятых под продовольственными культурами с низким уровнем накопления радионуклидов, расширение производства продовольственных культур, предназначенных для последующей технологической переработки (сахарная свекла, рапс), кормовых или технических культур.

В качестве организационной контрмеры может рассматриваться изменение растениеводческого направления хозяйств на животноводческое, решение о смене вида животных. Изменение землепользования (перепрофилирование хозяйств) - радикальная, но и наиболее дорогостоящая контрмера. Решения о ее введении,

особенно на территориях с высокими уровнями загрязнения долгоживущими радионуклидами (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238, 239, 240}\text{Pu}$) могут приниматься в отдаленный (спустя годы) период после радиоактивных выпадений, когда другие контрмеры оказываются недостаточными. Коренные перемены в схеме землепользования неизбежно влекут за собой долгосрочные социальные и экономические последствия.

Подбор видов и сортов продовольственных культур, отличающихся низким накоплением конкретного радионуклида, позволяет существенно снизить уровни загрязнения выращиваемой продукции. Данная контрмера может применяться на раннем этапе аварии, если радиоактивные выпадения имели место до начала сельскохозяйственных работ, либо в отдаленный период, когда корневой путь поступления радионуклидов становится ведущим в загрязнении продукции растениеводства.

Коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в растения варьируют в широком диапазоне в зависимости от вида растений, распределение радионуклидов между отдельными частями растений также неодинаково. Поэтому, например, выращивание зерновых культур вместо зеленных овощей дает снижение загрязнения продукции до 5 раз вследствие более низкого перехода радионуклидов в зерно.

Надо учитывать, что доступность необходимого количества семян альтернативных культур после аварии может быть ограничена. Альтернативные культуры могут иметь меньшую урожайность и быть менее устойчивыми к болезням и вредителям. Внедрение альтернативных культур может потребовать иной посадочной и уборочной техники. Преимущественное выращивание культур с низким уровнем накопления радионуклидов возможно за счет изменения структуры посевных площадей, что означает изменение землепользования и влечет за собой нежелательные экономические и социальные последствия.

Замена продовольственных культур непродовольственными (кормовыми, фуражными или техническими) культурами. Цель данной меры - продолжение ведения сельского хозяйства и производство хозяйственно полезной или коммерчески ценной продукции на загрязненных территориях. Она может использоваться на промежуточном и позднем этапах аварии.

По сравнению с продовольственными культурами, для кормовых, фуражных и технических культур допустимы более высокие уровни загрязнения, так как на пути радионуклидов в организм человека имеется еще одно звено (животные), либо снижение содержания радионуклидов в конечном продукте достигается в ходе технологических процессов переработки исходной продукции. Так, например, при производстве сахара, растительных масел, льна конечный продукт имеет более низкую (в 10 раз и более) удельную активность, чем исходное сырье.

При введении этой контрмеры необходимо учитывать доступность семенного материала и соответствующей техники для возделывания альтернативных культур, наличие производственных мощностей для переработки технических культур, а также возможность обращения с отходами, которые могут быть радиоактивными.

Замена растениеводства на животноводство. Для ведения мясного производства можно использовать сельскохозяйственные угодья с более высокими уровнями загрязнения, так как на пути радионуклидов от почвы до человека появляется дополнительное звено - организм животных. Биологический период полувыведения радионуклидов из организма животных достаточно непродолжительный и обеспечивает удаление основной части загрязнения в течение предубойного периода содержания животных на чистых кормах.

Замена молочного производства мясным. Цель введения данной меры - снижение перехода радионуклидов в продукцию и производство ценных продуктов питания. Контрмера применима на промежуточном и позднем этапах аварии, но может быть рекомендована для введения только на территориях с относительно высокими уровнями загрязнения. Коэффициент перехода радионуклидов из почвы в продукцию различается до 10 раз.

Производство мяса с загрязнением ниже уровней вмешательства возможно при более высоких плотностях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий, когда получение отвечающего радиологическим стандартам молока является уже невозможным. Основными приемами получения "чистого" мяса является правильная организация кормовой базы, предубойный откорм животных в течение 2-3 мес. чистыми кормами.

Смена вида животных. При перепрофилировании мясных отраслей учитывают, что наиболее "чистое" мясо производится в свиноводстве, затем следует производство говядины. Максимальное количество радионуклидов содержится в баранине. Сравнительно мало содержится радионуклидов в мясе и яйцах птицы.

Мясомолочное скотоводство и мясошерстное овцеводство основываются на пастбищной технологии содержания животных. Поэтому необходимо принимать во внимание, что территории, пригодные для овцеводства, часто не подходят для выращивания крупного рогатого скота. Когда пастбищные земли сильно загрязнены, а возможность поставок чистых кормов ограничена, наиболее рациональными отраслями являются птицеводство и свиноводство. Ведение этих отраслей базируется на стационарном содержании животных и птицы и использовании менее загрязненных кормов (корне- и клубнеплоды, зернофураж, концентраты).

Экономическая выгода от такой замены вида может быть ниже ожидаемой из-за недостатка знаний, практического опыта и отсутствия в регионе необходимых элементов новой хозяйственной инфраструктуры. Все мероприятия, требующие внедрения животноводства или замены животных, ограничены наличием поголовья альтернативных видов.

В крайних случаях при высокой плотности загрязнения, когда получение любого вида животноводческой продукции человеком становится невозможным, целесообразно использовать эти угодья для организации звероводческих хозяйств.

Прекращение сельскохозяйственного производства. При высоких уровнях загрязнения земель может быть принято решение о введении иного вида хозяйственного использования территории, например, лесного хозяйства.

3.5. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

В соответствии с « Законом об охране окружающей природной среды», для районов интенсивного техногенного воздействия вводятся понятия территорий крайних степеней экологического неблагополучия- экологического бедствия и чрезвычайной экологической ситуации.

Согласно регламентирующим документам Госкомэкологии РФ, для оценки состояния окружающей среды и сферы жизнедеятельности человека в случае радиоактивного загрязнения территории рекомендуется использовать следующие параметры:

- плотность радиоактивного загрязнения почвы (запас) по отдельным радионуклидам: ^{137}Cs , ^{90}Sr и Pu (по сумме изотопов плутония);
- мощность экспозиционной дозы излучения на расстоянии 1 м от поверхности почвы;
- эффективную эквивалентную годовую дозу облучения населения.

Критерии экологического состояния территорий с радиоактивным загрязнением, определенные исходя из значений мощности экспозиционной дозы, плотности радиоактивного загрязнения и ожидаемой эффективной эквивалентной дозы облучения населения, представлены в приложении 14.

Территории не относятся к зонам радиоактивного загрязнения, если годовая эффективная доза не превышает 1 мЗв. Здесь проводится обычный контроль радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции, Проживание и хозяйственная деятельность населения на этой территории по радиационному фактору не ограничивается. Территории с годовой дозой от 1 мЗв до 5 мЗв классифицируются как опасные территории с напряженной экологической обстановкой. Загрязненные территории, в пределах которых годовые значения эффективной дозы превышают 5 мЗв, относятся к зонам чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия. На данных территориях должны проводиться мероприятия по их реабилитации.

Под *реабилитацией территорий* понимается поэтапное выполнение комплекса мер по оздоровлению радиационно-экологической обстановки, снижающих радиационный риск до социально-приемлемого уровня, смягчающих соци-

ально - психологическую напряженность и обеспечивающих перспективы экономического развития пострадавших районов.

Загрязненные территории с дозой более 1 мЗв/год по характеру необходимого контроля обстановки и защитных мероприятий подразделяются на 4 зоны:

1. Зона радиационного контроля - от 1 до 5 мЗв/год. В этой зоне помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и доз внешнего и внутреннего облучения критических групп населения, осуществляются меры по снижению доз и другие необходимые активные меры защиты населения. Форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной.

2. Зона ограниченного проживания населения - от 5 до 20 мЗв/год. В этой зоне осуществляются те же меры мониторинга и защиты населения, что и в зоне радиационного контроля. Добровольный въезд на указанную территорию для постоянного проживания не ограничивается. Лицам, проживающим и въезжающим на указанную территорию для постоянного проживания, разъясняется риск ущерба здоровью, обусловленный воздействием радиации.

3. Зона отселения - от 20 до 50 мЗв/год. Въезд на указанную территорию для постоянного проживания не разрешен. В этой зоне запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей. Здесь осуществляется радиационный мониторинг людей и объектов внешней среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты.

4. Зона отчуждения - более 50 мЗв/год. В этой зоне постоянное проживание не допускается, а хозяйственная деятельность и природопользование регулируется специальными актами. Осуществляются меры мониторинга и защиты работающих с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем.

3.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.

Пример 3.1. Какую дозу внутреннего облучения получит человек при потреблении 1000 л питьевой воды за год, если она содержит цезий 5 Бк /л и стронций 2 Бк /л?

Решение. За год в организм человека поступит

$$A_{\text{год}}=1000 \times 5 = 5000 \text{ Бк /год } ^{137}\text{Cs}$$

$$A_{\text{год}}=1000 \times 2 = 2000 \text{ Бк /год } ^{90}\text{Sr}$$

Дозовый коэффициент для ^{137}Cs $K = 0,013 \text{ мкЗв/Бк}$,

для ^{90}Sr $K = 0,08 \text{ мкЗв/Бк}$, (приложение 17)

значит, за счет цезия доза составит

$$D_{\text{Cs}} = A_{\text{год}} \times K = 5000 \times 0,013 = 65 \text{ мкЗв/год},$$

за счет стронция

$$D_{\text{Sr}} = 2000 \times 0,08 = 160 \text{ мкЗв/год}.$$

Суммарная годовая доза внутреннего облучения за счет питьевой воды составит

$$D = D_{\text{Cs}} + D_{\text{Sr}} = 65 + 160 = 225 \text{ мкЗв/год} = 0,225 \text{ мЗв/год},$$

что меньше основного дозового предела.

Пример 3.2. Используя ВДУ России- 93, определить, можно ли в хозяйстве Брянской области выращивать картофель на дерново-подзолистых супесчаных почвах с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs 4 Ки/км².

Решение. Согласно уравнению 13, загрязненность картофеля будет зависеть от плотности загрязнения почв и коэффициента перехода, который находим в приложении 19.

$$a_p = K\Pi^* \times a_s = 7 \times 4 = 28 \text{ Бк/кг}$$

Сопоставляем полученную удельную активность картофеля с ВДУ (приложение 21). Его активность гораздо ниже допустимых уровней (600 Бк/кг). Картофель в хозяйстве можно выращивать и использовать без переработки.

Пример 3.3. Определить уровень радиоактивной загрязненности ^{137}Cs сена многолетних сеяных трав на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Плотность загрязнения почвы по этому радионуклиду равна 8 Ки/км².

Решение. Согласно уравнению 13, загрязненность сена будет зависеть от плотности загрязнения почв и коэффициента перехода, который находим в приложении 18.

$$a_p = \text{КП}^* \times a_s = 1500 \times 8 = 10\,000 \text{ Бк/кг}$$

Сопоставляем полученную удельную активность сена с контрольными уровнями (приложение 23). Данное сено использовать нельзя, т. к. его активность гораздо выше допустимых уровней (600 Бк/кг).

Пример 3.4. Используя российские республиканские допустимые нормы, оцените, можно ли хозяйству выращивать крупный рогатый скот для производства молока и мяса с использованием кормов, произведенных в хозяйстве, если почвы дерново-подзолистые супесчаные с плотностью загрязнения 4 Ки/км² по Cs¹³⁷. Рацион питания животных приведен в приложении 26 (в хозяйстве сеяные травы).

Решение. Ожидаемое содержание радионуклида в кормовых растениях при заданной плотности поверхностного загрязнения рассчитываем по формуле (16), коэффициенты перехода находим в приложении 18.

$$\text{Для сена } a = a_s \cdot \text{КП}^* = 150 \times 4 = 600 \text{ Бк/кг}$$

$$\text{Для ячменя } a = a_s \cdot \text{КП}^* = 7 \times 4 = 28 \text{ Бк/кг}$$

$$\text{Для силоса } a = a_s \cdot \text{КП}^* = 10 \times 4 = 40 \text{ Бк/кг}$$

По формуле (18) определяем суммарную активность рациона

$$\begin{aligned} \Sigma A_{\text{сут}} &= (a_p \cdot \text{СР})_1 + (a_p \cdot \text{СР})_2 + (a_p \cdot \text{СР})_3 = \\ &= 600 \times 4 + 28 \times 2 + 40 \times 20 = 3256 \text{ Бк/сутки} \end{aligned}$$

Определяем прогнозируемую загрязненность молока и мяса при данном рационе по формуле (19) (коэффициенты перехода радионуклида из рациона в продукцию находим в приложении 25)

$$\text{Для молока } a_{\text{мол}} = 0,01 \times 3256 = 32,56 \text{ Бк/л}$$

$$\text{Для мяса } a_{\text{мясо}} = 0,04 \times 3256 = 130,26 \text{ Бк/кг}$$

Сравниваем рассчитанную активность продукции с ВДУ (приложение 21). Продукция удовлетворяет радиационным гигиеническим требованиям. Хозяйству можно заниматься и молочным, и мясным животноводством.

3.7. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. В результате аварии на Сибирском химкомбинате в апреле 1993 года в окружающую среду произошел выброс радионуклидов. В районе ближайшей деревни Георгиевка радиационный фон составил 25 мкР/ч. Рассчитайте, какую эффективную дозу от внешнего облучения получит житель этой деревни за год?
2. В некоторых областях с повышенным содержанием естественных природных радиоизотопов (Индия, Бразилия) естественный внешний фон составляет 380 мрад/год. Рассчитайте мощность экспозиционной дозы, которую будут показывать в этих районах приборы ДРГ-1.
3. Рассчитайте, какую дозу получит человек от употребления 300л молока, содержащего ^{137}Cs -250 Бк/л и ^{90}Sr -100 Бк/л.
4. Рассчитайте, какую дозу получит человек от употребления 100 кг хлеба, содержащего ^{137}Cs -80 Бк/кг и ^{90}Sr -100 Бк/кг.
5. Используя российские временные допустимые уровни, оцените возможность использования в пищу свеклы столовой, выращенной на тяжелосуглинистых почвах с плотностью загрязнения 20 Ки/км² по Cs^{137} .
6. Используя украинские республиканские допустимые уровни, оцените возможность использования в пищу картофеля, выращенного на легких суглинистых почвах с плотностью загрязнения 6 Ки/км² по Cs^{137} .
7. Используя российские допустимые нормы, оцените можно ли хозяйству выращивать крупный рогатый скот на мясо, если почвы дерново-подзолистые тяжело-суглинистые с плотностью загрязнения 8 Ки/км² по Cs^{137} .
8. Используя российские допустимые нормы, оцените возможность молочного направления для хозяйства, имеющего дерново-подзолистые почвы супесчаные с плотностью загрязнения 0,8 Ки/км² по Sr^{90} (рацион питания в прил. 13).
9. Используя республиканские допустимые нормы, оцените, можно ли хозяйству выращивать зерновые, если почвы супесчаные, плотность загрязнения угодий по Sr^{90} 12 Ки/км²
10. Используя СанПиН, оцените возможность выращивания капусты на черноземах с плотностью загрязнения 5,3 ки/км² по Cs^{137} .

3.8. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА.

РАСЧЕТ СУММАРНОЙ ГОДОВОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ.

Цель работы: рассчитать суммарную годовую дозу облучения человека, проживающего на загрязненной радионуклидами территории и потребляющего продукты питания, полученные на этой территории, если известны уровни загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Принцип работы.

Содержание упражнения - прогнозная оценка. Имея только данные о загрязнении радионуклидами исследуемой территории, можно приблизительно рассчитать:

- а) уровни загрязнения сельскохозяйственной продукции;
- б) дозовые нагрузки на человека за счет внутреннего облучения при потреблении сельскохозяйственных продуктов местного производства и
- в) внешнего облучения.

Порядок выполнения работы:

1. Получите от преподавателя задание, в котором даны:
 - а) плотности поверхностного загрязнения территории ^{137}Cs и ^{90}Sr ;
 - б) характеристика основных почв данной территории;
 - в) годовой рацион питания человека (приложение 17);
 - г) суточный рацион кормления животных (приложение 26).
2. Пользуясь приведенным выше соотношением (11), рассчитайте дозу внешнего облучения человека.
3. Используя формулы (12), (13), (14), (15), рассчитайте возможные уровни загрязнения растениеводческой продукции ($a_{\text{пр}}$) и годовые дозы внутреннего облучения человека от потребления этих продуктов ($D_{\text{внутр}}$). Результаты запишите в таблицу 1 (окончательный результаты $D_{\text{внутр}}$ округляйте до целых):

Таблица 1

Доза внутреннего облучения от продукции растениеводства

Радио- нуклид	Продукт питания	КП [*]	a_p , Бк/кг	$k_{пп}$	$a_{пр}$, Бк/кг	ГП, кг/год	$A_{год}$, Бк/год	$D_{внутр}$ мкЗв/год
^{137}Cs								
^{90}Sr								

4. Рассчитайте возможные уровни загрязнения животноводческой продукции и годовые дозы внутреннего облучения человека от потребления этих продуктов. Для этого:

а) оцените возможное поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм животных с суточным рационом кормов (соотношения (12), (16)). Результаты запишите в таблицу 2.

Таблица 2

Содержание радионуклидов в рационе животных

Корма Радионуклид	Кормовые культуры	КП*	a_p , Бк/кг	СР, кг/сут	$A_{сут}$, Бк/сут	$\Sigma A_{сут}$, Бк/сут
^{137}Cs						
^{90}Sr						

б) рассчитайте поступление ^{137}Cs и ^{90}Sr в организм человека и дозы внутреннего облучения от потребления животноводческой продукции (соотношения (14), (15), (16), (17), (18), (19)). Результаты запишите в таблицу 3.

Таблица 3

Доза внутреннего облучения от продукции животноводства

Радио- нуклид	Продукт питания	КП _{рац}	$a_{пр}$, Бк/кг	ГП, кг/год	$A_{год}$, Бк/год	$D_{внутр.}$, мкЗв/год
^{137}Cs						
^{90}Sr						

5. Составьте итоговую таблицу 4 по расчету суммарной дозы облучения человека, проживающего на территории, загрязненной радионуклидами, и оцените вклад отдельных составляющих в суммарную дозу облучения (по показателю «% от суммарной дозы»):

Таблица 4

Суммарная годовая доза облучения человека на загрязненной территории

Источники облучения	Доза, мкЗв/год		% от суммарной дозы	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Внешнее облучение				
Внутреннее облучение				
в т. ч. продукты питания:				
1				
2				
3				
4				
5				
Суммарная годовая доза			100	

6. Сделайте выводы:

- а) о возможных уровнях загрязнения сельскохозяйственной продукции ($a_{пр}$) и кормов (a_p), сопоставив их с ВДУ, СанПиН и контрольными уровнями (КУ) содержания радионуклидов в кормах (см. приложения 21, 22, 23). Оцените возможности и ограничения в реализации через торговую сеть местной сельскохозяйственной продукции;
- б) о величине и структуре дозовой нагрузки на население, сопоставив ее с основным дозовым пределом (приложение 12).

7. Оцените радиоэкологическую ситуацию (приложение 27).

8. Разработайте конкретные предложения по проведению мероприятий, направленных на снижение дозовых нагрузок на население и загрязненности сельскохозяйственной продукции (рекомендации по изменению направления производства и структуры сельхозугодий; по проведению культурно-технических мероприятий и изменению технологий производства; по использованию и переработке сельскохозяйственной продукции). В работе используйте материалы приложений 28 и 29.

4. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

4.1. Радиоактивность и ее измерение.

4.1.1. Радиоактивность. Типы радиоактивного распада. Виды излучения. Основной закон радиоактивного распада.

111. Установите соответствие
- А. Корпускулярное излучение
 - Б. Электромагнитное излучение
1. β - частицы
 2. γ - излучение
 3. α - излучение
 4. рентгеновские лучи
112. ^{238}U и ^{235}U - это
1. изотопы
 2. изобары
 3. изомеры
113. При β - распаде ^{228}Ra образуется
1. ^{228}Ac
 2. ^{228}Fr
 3. ^{227}Fr
114. Период полураспада ^{42}K 12 часов. Через двое суток число радиоактивных атомов уменьшится
1. до нуля
 2. в 4 раза
 3. в 8 раз
 4. в 16 раз
 5. в 24 раза
115. Скорость радиоактивного распада искусственных радионуклидов зависит от
1. температуры
 2. давления
 3. природы изотопа
 4. природы соединения, в состав которого он входит
121. Установите соответствие
- А. Корпускулярное излучение
 - Б. Электромагнитное излучение
1. нейтроны
 2. фотоны
 3. γ - частицы
 4. поток электронов
122. ^{90}Y и ^{90}Sr - это
1. изотопы
 2. изобары
 3. изомеры

123. При α - распаде ^{224}Ra образуется

1. ^{220}Rn
2. ^{228}U
3. ^{220}Ac

124. Сельскохозяйственные земли загрязнены ^{137}Cs , период полураспада 30,0 лет. Загрязнение уменьшится вследствие распада в 4 раза через

1. 60 лет
2. 90 лет
3. 120 лет

125. Максимальной проникающей способностью обладает

1. γ - излучение
2. β - излучение
3. α - излучение

131. Расположите среды по уменьшению величин слоя полуослабления

1. воздух
2. свинец
3. дерево

132. ^{238}U и $^{238}\text{U}^*$ - это

1. изотопы
2. изобары
3. изомеры

133. При β - распаде ^{212}Bi образуется

1. ^{212}Po
2. ^{216}Po
3. ^{208}Po

134. Сельскохозяйственные земли загрязнены радиоактивным ^{90}Sr , период полураспада 27,7 лет. Через 55 лет радиоактивность земель вследствие физического распада радиоизотопа уменьшится на

1. 75%
2. 87,5%
3. 12,5%

135. Единицей измерения активности не является

1. Кюри
2. Беккерель
3. Грей

141. ^{14}C и ^{14}N - это

1. изотопы
2. изобары
3. изомеры

142. Установите соответствие

А. γ - излучение С. α - излучение

В. β - излучение

1. испускание позитронов
2. поток ядер гелия
3. поток фотонов

143. При α - распаде ^{212}Po образуется

1. ^{208}Bi
2. ^{208}Pb
3. ^{212}Pb

144. Высокоактивные радиационные отходы содержат ^{239}Pu , период полураспада которого 24 тысячи лет. Их радиоактивность уменьшится в 1000 раз и будет составлять 0,1% от первоначальной через

1. 120 тысяч лет
2. 240 тысяч лет
3. 240 миллионов лет

145. Линейная плотность ионизации максимальна для

1. рентгеновского излучения
2. потока протонов
3. α - излучения

151. Минимальную величину слоя полуослабления γ - излучения имеет

1. воздух
2. свинец
3. дерево
4. бетон

152. Н и Т - это

1. изотопы
2. изобары
3. изомеры

153. При α - распаде ^{234}U образуется

1. ^{238}U
2. ^{230}Th
3. ^{235}U

154. В результате аварии на Чернобыльской АЭС произошло загрязнение питьевой воды радиоактивным ^{131}I с периодом полураспада 8 дней. Вследствие физического распада радионуклида через месяц (32 дня) после аварии загрязнение уменьшилось в

1. 32 раза
2. 16 раз
3. 4 раза

155. Скорость распада естественных радионуклидов

1. можно ускорить, повысив давление
2. можно замедлить, понизив температуру
3. нельзя изменить

161. Превращение ядра ^{226}Ra в ^{222}Rn – пример

1. деления ядра
2. α - распада
3. β - распада
4. изомерного γ - перехода

162. ^{220}Rn и ^{224}Rn - это

1. изотопы
2. изобары

3. изомеры

163. При β - распаде ^{210}Pb образуется

1. ^{210}Bi

2. ^{206}Tl

3. ^{206}Pb

164. Использование ^{32}P (период полураспада 14 дней) в качестве радиоактивной метки при проведении полевых исследований не приводит к значительному загрязнению атмосферы, т.к. через 2 месяца его радиоактивность вследствие физического распада уменьшится в

1. 24 раза

2. 16 раз

3. 8 раз

165. Максимальную величину слоя полуослабления γ - излучения имеет

1. воздух

2. бетон

3. дерево

4. свинец

171. Установите соответствие

А. γ - излучение С. α - излучение

В. β - излучение

1. поток ядер гелия

2. поток квантов

3. поток электронов

172. ^{137}Ba и $^{137}\text{Ba}^*$ - это

1. изотопы

2. изобары

3. изомеры

173. При α - распаде ^{226}Ra образуется

1. ^{230}Rn

2. ^{222}Rn

3. ^{230}Th

174. Сгущенное молоко загрязнено радиоизотопом ^{131}I с периодом полураспада 8 дней, и его радиоактивность превышает допустимые нормы в 50 раз. Вследствие физического распада радионуклида продукт будет соответствовать нормам через

1. 50 дней

2. 400 дней

3. 100 дней

175. Для всех ионизирующих излучений характерна

1. корпускулярная природа

2. способность к ионизации

3. высокая проникающая способность

4.1.2. Методы регистрации ионизирующих излучений

211. Автография – вариант метода регистрации ионизирующих излучений
1. ионизационного
 2. фотографического
 3. сцинтилляционного
212. Для определения мощности дозы не используют шкалу
1. мкЗв/час
 2. мкР/час
 3. Ки/м³
221. Счетчики Гейгера-Мюллера являются детекторами в области напряжений, при которых
1. ионы движутся медленно и не все достигают электродов
 2. одна пара ионов создает ток в виде разряда
 3. ток достигает насыщения
222. Для определения γ -фона не используется шкала
1. мкР/сек
 2. мР/час
 3. Ки/м³
231. Для индивидуальных дозиметров нельзя использовать метод регистрации радиации
1. фотографический
 2. калориметрический
 3. термолюминесцентный
232. Для определения мощности экспозиционной дозы используют шкалу
1. мкР/час
 2. Бк/км²
 3. Ки/км³
241. Для регистрации радиации можно использовать
1. любое напряжение между электродами
 2. напряжение, соответствующее области пропорциональности
 3. только малое напряжение, когда частицы двигаются медленно
242. Единицей измерения β -активности радионуклида не является
1. Рентген
 2. Беккерель
 3. число распадов в минуту
251. Комплект индивидуальных дозиметров КИД-2 для регистрации радиации - пример использования
1. ионизационного метода
 2. сцинтилляционного метода
 3. фотографического метода
252. Для определения удельной активности используют шкалу
1. мкР/час
 2. Ки/кг
 3. мР/сек

261. Камера Гейгера-Мюллера основана на методе регистрации радиации
1. ионизационном
 2. сцинтилляционном
 3. калориметрическом
262. Единицей измерения α - активности радионуклида не является
1. Кюри
 2. число импульсов в минуту
 3. Рентген
271. Газоразрядные счетчики основаны на методе регистрации радиации
1. ионизационном
 2. сцинтилляционном
 3. калориметрическом
272. Удельную активность можно измерить в:
1. мкР/час
 2. Беккерелях
 3. Ки/м³

4. 1.3. Основы дозиметрии ионизирующих излучений.

311. Количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной телом в пересчете на единицу массы, называется
1. Поглощенной дозой
 2. Эффективной дозой
 3. Экспозиционной дозой
312. Единицей измерения эквивалентной поглощенной дозы не является
1. Рад
 2. Зиверт
 3. Бэр
321. Доза, которая позволяет учесть длительное действие какого-либо источника на организм и прогнозировать биологические эффекты действия радиации на этот организм, называется
1. Полной коллективной дозой
 2. Полной (ожидаемой) дозой
 3. Экспозиционной дозой
322. Единицей измерения экспозиционной дозы не является
1. Кулон/ килограмм
 2. Рентген
 3. Грей
331. Доза, которая получена организмом и рассчитана с учетом коэффициента качества излучения, называется
1. Эквивалентной
 2. Эффективной
 3. Экспозиционной

332. Единицей измерения мощности дозы не является
1. Рентген/час
 2. человекозиверт
 3. мЗиверт/ год
341. Количество излученной энергии, вызывающей ионизацию в течение определенного времени, называется
1. мощностью эффективной дозы
 2. мощностью экспозиционной дозы
 3. экспозиционной дозой
342. Единицей измерения эквивалентной поглощенной дозы не является
1. Рад
 2. Зиверт
 3. Бэр
351. Количество энергии, полученной организмом с учетом коэффициента качества излучения, называется
1. Эквивалентной дозой
 2. Поглощенной дозой
 3. Мощностью эффективной дозы
352. Грей- единица измерения
1. Поглощенной дозы
 2. Эквивалентной дозы
 3. Эффективной дозы
361. Бэр-единица измерения
1. Экспозиционной дозы
 2. Поглощенной дозы
 3. Эквивалентной дозы
362. Доза, которая позволяет учесть мутагенный эффект облучения и прогнозировать генетические последствия действия радиации от этого источника, называется
1. Эффективной
 2. Полной ожидаемой
 3. Полной коллективной
371. Количество излученной энергии называется
1. Поглощенной дозой
 2. Эффективной дозой
 3. Экспозиционной дозой
372. Коэффициент радиационного риска отдельных тканей и органов человека используют для расчета
1. Поглощенной дозы
 2. Эквивалентной дозы
 3. Эффективной дозы

4. 2. Экология радионуклидных загрязнений.

4.2.1. Природный радиоактивный фон. Техногенноизмененный радиоактивный фон. Источники радионуклидных загрязнений.

411. Расположите в ряд по уменьшению доли в первичном космическом излучении
1. ядра гелия
 2. протоны
 3. электроны
412. При мощности взрыва меньше 100 кт возможны выпадения
1. местные
 2. региональные
 3. глобальные
413. Высокоактивные радиационные отходы надо хранить в течение
1. 100 лет
 2. 1000 лет
 3. 10 000 лет и больше
414. Соотнесите радионуклиды
- А. Радионуклиды, особо опасные как внутренние источники облучения
- Б. Радионуклиды, обуславливающие внешнее облучение организма
1. Полоний 210
 2. Торий 232
 3. Радон 220
 4. Углерод 14
415. Выберите неправильное утверждение
1. Естественная радиоактивность морской воды обусловлена присутствием ^{40}K и продуктов распада радиоизотопов урана и тория.
 2. Удельная активность естественных радионуклидов в фосфорных удобрениях и мелиорантах, используемых в нашей стране, не нормируется.
 3. Экраны телевизоров и компьютерных дисплеев являются источниками дополнительного радиационного облучения.
421. Расположить выпадения в порядке увеличения мощности вызвавшего их взрыва
1. локальные
 2. тропосферные
 3. стратосферные
422. Международной декларацией 1963 года не запрещены взрывы
1. подземные
 2. подводные
 3. космические
423. Один из загрязнителей окружающей среды при нормальной работе АЭС
1. тритий
 2. Калий 40
 3. Стронций 90

424. Соотнесите

А. Радионуклиды – биогены

1. Йод 131
2. Ксенон 85
3. Тритий
4. Железо 55
5. Уран 235
6. Аргон 41

Б. Радионуклиды – небиогены

425. Выберите неправильное утверждение

1. Высокотоксичные радионуклиды ^{210}Po , ^{210}Pb и ^{222}Rn являются природными радиоизотопами и постоянно образуются при распаде ^{238}U .
2. Радиация не является постоянно действующим экологическим фактором.
3. Частота проветривания помещений влияет на величину дозы радиации, получаемой человеком.

431. Расположить выпадения в порядке увеличения содержания в них короткоживущих радионуклидов

1. местные
2. полуглобальные
3. глобальные

432. Характеристика локальных загрязнений:

1. Частицы крупные
2. Много водорастворимых веществ
3. Радиоактивность низкая

433. Выберите группу, включающую только естественные радионуклиды

1. ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr
2. ^{14}C , ^{90}Sr , ^{131}I
3. ^{238}U , ^{40}K , ^{232}Th
4. ^{239}Pu , ^{137}Cs , ^{131}I

434. Выберите неправильное утверждение:

1. С увеличением высоты местности над уровнем моря космическое излучение уменьшается
2. Техногенноизмененный радиационный фон можно уменьшить
3. Самая грязная стадия ядерного топливного цикла (ЯТЦ) – хранение и переработка радиоактивных отходов

435. Выберите и соотнесите радионуклиды–загрязнители окружающей среды и их химические аналоги – биогены

А. Стронций 90 Б. Цезий 137

1. Кальций
2. Железо
3. Калий
4. Цинк

441. Расположите стадии ядерного топливного цикла (ЯТЦ) в порядке увеличения их вклада в загрязнение окружающей среды

1. хранение и переработка ТВЭЛов
2. хранение жидких радиоактивных отходов
3. работа реакторов

442. Характеристика стратосферных выпадений

1. являются местными
2. радиоактивность высокая
3. содержат долгоживущие радионуклиды

443. Выберите неправильное утверждение

1. Во всех точках земного шара природный радиационный фон одинаковый
2. Излучение, которое окружающая среда получает от радионуклидов, содержащихся в фосфорных удобрениях, входит в техногенноизмененный радиационный фон
3. Поступление в окружающую среду криптона 85, йода 131, трития происходит только во время радиационной аварии на АЭС

444. Соотнесите радионуклиды

А. Ряд тория 232 Б. Ряд урана 238

1. Радон 220
2. Радий 228
3. Радий 226
4. Полоний 210

445. Выберите неправильное утверждение

1. Естественная радиоактивность атмосферы обусловлена наличием в ней газообразных радона, торона, трития, ^{14}C , а также аэрозолей ^{40}K , урана, радия.
2. Рентгеновские и другие диагностические медицинские процедуры не вносят существенного вклада в суммарную дозу радиации.
3. В Бразилии, Индии и других регионах земного шара встречаются урановые провинции, в которых природный радиационный фон в 100-800 раз выше среднемирового.

451. Расположите изотопы урана в порядке уменьшения их содержания в природе

1. уран 235
2. уран 238
3. уран 234

452. Выберите группу, включающую только долгоживущие радионуклиды-загрязнители биосферы после испытания ядерного оружия

1. ^{137}Cs , ^{90}Sr
2. ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K ,
3. ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K , ^{14}C
4. ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{40}K , ^{131}I , ^{238}U

453. Характеристика тропосферных выпадений

1. наблюдаются при мощности взрыва больше 1 Мт
2. происходят в течение нескольких месяцев после взрыва или аварии
3. радиоактивность очень высокая

454. Выберите правильное утверждение

1. Природные радионуклиды обеспечивают только внешнее облучение живых организмов
2. Все короткоживущие природные радионуклиды или являются членами радиоактивных семейств и постоянно образуются при распаде родоначальников ряда, или являются космогенными
3. Строительные материалы и фосфорные удобрения не могут быть источниками радиации

455. Выберите и соотнесите

А. Космогенные радионуклиды

Б. Естественные радионуклиды тяжелых элементов

1. Торий 232
2. Калий 40
3. Углерод 14
4. Тритий
5. Уран 238

461. Расположить отходы в порядке увеличения опасности загрязнения окружающей среды

1. жидкие отходы
2. среднеактивные отходы
3. отработанные ТВЭЛы

462. Выберите правильное утверждение

1. Радиоактивный уран содержится в почвах, водах природных источников, в золе растений и в организме животных
2. Метод радиоуглеродного определения возраста останков организмов растений и животных основан на том, что количество радиоактивного изотопа ^{14}C на планете постоянно убывает вследствие радиоактивного распада.
3. Стратосферные выпадения содержат большое количество короткоживущих радионуклидов

463. Характеристика стратосферных осадков

1. наблюдаются в течение нескольких лет после взрыва или аварии
2. содержат короткоживущие радионуклиды
3. содержат большое количество нерастворимых веществ

464. Соотнесите радионуклиды

А. Природные

Б. Искусственные

1. Плутоний 239
2. Свинец 210
3. Кобальт 60
4. Радон 220

465. После аварии на Чернобыльской АЭС наибольшим уровнем радиоактивного загрязнения в России характеризуется область

1. Орловская
2. Рязанская
3. Смоленская
4. Курская
5. Брянская

471. Расположить радионуклиды в ряд по увеличению их роли во внутреннем облучении человека

1. калий 40
2. радон 220
3. торий 232

472. При мощности взрыва меньше 1 Мт не наблюдаются выпадения
1. стратосферные
 2. тропосферные
 3. локальные
473. Основной загрязнитель окружающей среды при нормально работающей АЭС
1. криптон 85
 2. стронций 90
 3. радий 226
474. Соотнесите:
- А. Космогенные радионуклиды
- Б. Радионуклиды земной поверхности
1. Тритий
 2. Калий 40
 3. Торий 232
 4. Углерод 14
475. Выберите неправильное утверждение
1. Радиоактивность внутри здания определяется грунтом, на котором оно построено, и используемыми строительными материалами.
 2. На территории Пермской области было проведено несколько ядерных взрывов в мирных целях, что привело к загрязнению подземных вод, грунта, нефти и технологического оборудования остатками ядерного топлива, продуктами деления и продуктами наведенной радиации.
 3. В отличие от атомных электростанций, тепловые электростанции, работающие на угле и нефти, не загрязняют окружающую среду радионуклидами

4.2.2. Основные закономерности поведения радионуклидов в агроэкосистемах.

4. 2.2.1. Пути поступления радионуклидов в растения.

511. Радиоактивные выпадения ^{137}Cs и ^{90}Sr локализуются на целинных землях преимущественно в слое
1. 0-5 см
 2. 0-20 см
 3. 0-50 см
 4. 0-100 см
512. Наибольшее количество радионуклидов накапливают
1. мхи
 2. озимые
 3. многолетние травы
513. На территориях, сильно загрязненных ^{90}Sr , предпочтительно ведение
1. овощеводства
 2. кормопроизводства
 3. семеноводства
 4. животноводства

514. Наиболее опасный с точки зрения загрязнения продукции и кормов путь поступления радионуклидов в растения в первый период после радиационной аварии

1. корневой
2. первичный аэральный
3. вторичный некорневой

515. Выберите неправильное утверждение

1. При аэральном пути поступления радионуклидов в растения происходит неселективная адсорбция всех поступивших на надземные части растений радиоизотопов.
2. ^{137}Cs прочнее поглощается почвой, чем ^{90}Sr , причем с течением времени эта связь ^{137}Cs с почвой еще более усиливается (старение изотопа).
3. Если коэффициент накопления радионуклида больше 1, то растения плохо усваивают данный элемент из почвы

521. ^{137}Cs поглощается растениями из почвы меньше, если в ней содержится много

1. обменного K^+
2. обменного Ca^{2+}
3. обменного Fe^{2+}

522. Большие количества искусственных радионуклидов в отдаленный период после радиационной аварии накапливают

1. травянистые растения
2. лишайники
3. хвойные деревья

523. Для снижения содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства наиболее эффективны удобрения

1. азотные
2. фосфорные
3. калийные

524. Выберите неправильное утверждение

1. Вторичный аэральный путь поступления радионуклидов в растения является наиболее важным в остепненных, степных и полупустынных районах.
2. Проникновение радионуклидов в растения определяется биологической подвижностью и биологической доступностью радиоизотопов
3. Злаковые пастбища накапливают больше радионуклидов, чем бобовые в тех же условиях

525. Соотнесите названия и определения

- А. Коэффициент накопления
Б. Коэффициент перехода
1. отношение содержания радионуклида в единице массы растения к содержанию радионуклида в единице массы почвы
 2. отношение концентрации радионуклида в растении к плотности загрязнения почвы

531. Добавление больших количеств извести не способствует переходу в необменное состояние, а наоборот, делает более доступным для растений радионуклид

1. ^{137}Cs
2. ^{90}Sr
3. ^{59}Fe

532. Расположите культуры в порядке увеличения накопления ими радионуклидов при выращивании их на загрязненных почвах

1. бобовые
2. картофель
3. зерновые

533. Радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr больше накапливаются сортами растений

1. раннеспелыми
2. позднеспелыми

534. Прием, который при использовании отдельно, а не в комплексе с другими, не снижает накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции растениеводства

1. известкование кислых почв
2. внесение азотных удобрений
3. внесение органических удобрений

535. Выберите неправильное утверждение

1. Выпас животных, движение транспорта, вспашка, дискование увеличивают вторичное некорневое поступление радионуклидов в растения
2. Коэффициент накопления характеризует поступление радионуклидов из растений в почву
3. При корневом поступлении радионуклидов в деревья наибольшее количество радионуклидов первоначально концентрируется в листьях, меньше в древесине, но постепенно многолетние части и органы древесных растений кумулируют радиоизотопы.

541. Величина первичного удерживания радионуклидов растениями не зависит от

1. вида почвы
2. скорости ветра
3. ориентации листьев
4. плотности растительного покрова

542. Радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr хуже закрепляются в почвах

1. с высоким содержанием органического вещества
2. с низким содержанием органического вещества
3. с высоким содержанием илистой фракции

543. Увеличивает поступление радионуклидов в растения

1. внесение фосфорных удобрений
2. орошение
3. заглубленная вспашка с фрезерованием с переворотом почвенного слоя

544. В течение первого вегетационного периода после радиационной аварии наибольшее количество радионуклидов накапливают

1. яблоки
2. свекла
3. картофель

545. Установите соответствие наиболее опасного пути поступления радионуклида из среды в растение и послеаварийного периода

А. Второй вегетационный период

В. Первый вегетационный период

1. Корневое поступление
2. Аэральное поступление

564. Лучевое поражение человека и сельскохозяйственных животных в зоне аварии на Чернобыльской АЭС в первый период было обусловлено накоплением радиоизотопа

1. кобальта
2. йода
3. ртути

565. Расположите типы почв в порядке увеличения накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях, выращенных на них

1. Легкосуглинистые
2. Тяжелосуглинистые
3. Среднесуглинистые
4. Песчаные
5. Супесчаные

571. Химическим аналогом калия не является радиоизотоп

1. рубидия
2. стронция
3. цезия

572. Наименьшее количество радионуклидов накапливает при равных условиях загрязнения почва

1. дерново-подзолистая
2. черноземная
3. пойменная

573. На территориях, сильно загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr , лучше отказаться от выращивания

1. технических культур
2. кормовых культур
3. семенного материала

574. Выберите неправильное утверждение

1. Большая поверхность, жилкование и гидрофильность листьев способствуют аэральному поглощению радионуклидов
2. Озимые сорта зерновых накапливают радионуклиды в больших количествах, чем яровые
3. ^{137}Cs при некорневом поступлении более подвижен, чем ^{90}Sr

575. Эффективность мероприятий, снижающих внешнее облучение от ^{137}Cs в почве, увеличивается в ряду:

1. фрезерование на глубину 10 см
2. вспашка плантажным плугом с предплужником
3. обычная вспашка
4. обычная вспашка с предплужником

4.2.2.2. Поступление радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных и человека.

611. Наибольшее количество ^{90}Sr поступает в организм человека с
1. с продукцией животноводства
 2. с продукцией растениеводства
 3. с водой
612. Скорость выведения из организма млекопитающего ^{137}Cs по сравнению с ^{90}Sr
1. больше
 2. меньше
 3. одинаковая
621. Отношение содержания нуклида в единице массы организма к содержанию этого же нуклида в единице массы предыдущего трофического уровня или в травяной растительности называется
1. кратностью накопления
 2. коэффициентом накопления (дискриминации)
 3. коэффициентом первичного удерживания
622. Наиболее интенсивное накапливание радионуклидов характерно для организмов
1. в молодом возрасте
 2. в зрелом возрасте
 3. в старом возрасте
631. Среди мясных продуктов наименьшее количество ^{137}Cs и ^{90}Sr содержит
1. мясо
 2. сало
 3. субпродукты (печень, легкие, сердце и др.)
632. Для полного количественного описания скорости освобождения организма от радионуклидов используют
1. эффективный период полувыведения
 2. период биологического полураспада
 3. период физического полураспада
641. Расположите в порядке возрастания по количеству поступающих радионуклидов пути поступления радиоизотопов в организм животных в отдаленный период после радиационной аварии
1. кожно-резорбтивный
 2. через желудочно-кишечный тракт
 3. ингаляционный
642. Накопление ^{90}Sr в организме животных при его хроническом поступлении в большой степени зависит от
1. концентрации йода в кормах
 2. состояния кальциевого обмена
 3. наличия в рационе грубых и сочных кормов
651. ^{90}Sr в организме человека и сельскохозяйственных животных в основном накапливается
1. в мышечной ткани
 2. в сале и внутреннем жире
 3. в печени
 4. в скелете

652. Время, в течение которого концентрация радионуклидов в организме животных или человека снижается вдвое в результате процессов метаболизма, называется

1. периодом полураспада
2. эффективным периодом полувыведения
3. периодом биологического полураспада

661. Основное место депонирования ^{137}Cs в организме человека и сельскохозяйственных животных

1. щитовидная железа
2. скелет
3. мышечная ткань

662. Для определения допустимого содержания радионуклидов в кормах при длительном поступлении загрязненных кормов используют

1. коэффициент первичного удерживания
2. коэффициент кратности накопления
3. период биологического полувыведения

671. Установите соответствие органа наибольшей локализации в организме млекопитающих радиоизотопов

А. радионуклид ^{137}Cs Б. радионуклид ^{90}Sr

1. Печень
2. Костные ткани
3. Щитовидная железа
4. Желудочно-кишечный тракт
5. Мышечная ткань

672. Накопление ^{132}I в организме животных при его хроническом поступлении в первое время после радиационной аварии в большой степени зависит от

1. концентрации йода в кормах
2. состояния кальциевого обмена
3. наличия в рационе грубых и сочных кормов

4. 2.3. Биологическое действие ионизирующих излучений.

Радиотоксикология.

711. К отдаленным последствиям облучения не относится

1. повышение частоты лейкозов
2. лучевой ожог
3. полная или временная стерильность

712. Распределите радионуклиды по группам токсичности

А. особо высокотоксичные Б. высокотоксичные

1. ^{210}Po
2. ^{226}Ra
3. ^{90}Sr
4. ^{131}I

713. Наиболее радиорезистентны

1. млекопитающие
2. рыбы
3. растения

721. Наиболее чувствительны к действию радиации
1. мышечная ткань
 2. кроветворная ткань, эпителий кишечника
 3. желудок, печень
722. Канцерогенность – это
1. способность живого организма переносить действие радиации
 2. способность вызывать злокачественные опухоли
 3. способность вызывать изменения на генетическом уровне
723. Расположите живые организмы в ряд по убыванию их радиочувствительности
1. микроорганизмы
 2. рыбы
 3. растения
 4. человек
731. Растение наименее чувствительно к действию радиации
1. в начальный период роста
 2. в фазе кущения
 3. в период физиологического покоя
732. К действию радиации более чувствительна ткань
1. кроветворная
 2. мышечная
 3. костная
733. Изменения, которые проявляются у потомства облученных особей, называются
1. Биологические
 2. Соматические
 3. Генетические
741. Максимальному риску от воздействия радиации подвергаются
1. клетки костной ткани
 2. легкие
 3. гонады
 4. мышцы
742. Наиболее чувствительны к действию радиации клетки
1. делящиеся
 2. старые
 3. малоподвижные
743. Расположите организмы в порядке увеличения их радиорезистентности
1. человек
 2. микроорганизмы
 3. рыбы
751. Соотнесите эффекты действия радиации и время их проявления
- А. Аутоиммунные процессы
- Б. Лучевая болезнь
- С. Стерильность
1. Непосредственный
 2. Опосредованный
 3. Отдаленный

752. Распределите радионуклиды по группам токсичности

А. Среднетоксичные

Б. С наименьшей токсичностью

1. ^{32}P
2. Т.
3. ^{14}C
4. ^{59}Fe .

752. Виды организмов, способные переносить дозы радиации свыше 1000 Грей

1. млекопитающие
2. растения, микроорганизмы
3. беспозвоночные

761. Ионизирующие излучения не используют для

1. обеззараживания навозных стоков
2. выведения новых сортов
3. стимуляции роста крупного рогатого скота
4. предпосевной обработки зерна
5. однополой стерилизации членистоногих
6. лучевой стерилизации продуктов питания

762. Щитовидная железа – место депонирования радиоизотопов

1. цезия
2. циркония
3. йода

763. Расположите организмы в порядке возрастания их радиорезистентности

1. растения
2. человек
3. беспозвоночные

771. Наиболее радиорезистентны

1. ткани ЦНС
2. ткани кроветворения
3. ткани органов зрения

772. К отдаленным последствиям действия радиации не относится

1. Полная или временная стерильность
2. Образование злокачественных опухолей
3. Лучевая болезнь
4. Лейкозы
5. Помутнение хрусталика

773. Видовая радиочувствительность 10-100 Грей характерна для

1. млекопитающих
2. птиц
3. рыб
4. вирусов и бактерий

4. 2.4. Ведение сельскохозяйственного производства на загрязненных землях. Пути переработки загрязненной продукции. Способы реабилитации земель.

811. В первый период после радиационной аварии загрязнение растениеводческой продукции происходит при

1. некорневом поступлении радионуклидов
2. корневом поступлении радионуклидов

812. При переработке молока, загрязненного ^{137}Cs и ^{90}Sr , на масло содержание радионуклидов снижается в конечном продукте по сравнению с сырьем в

1. 2-5 раз
2. 50-100 раз

813. К мероприятиям по снижению содержания радионуклидов в продукции животноводства не относится

1. использование “чистых кормов” в предубойный период
2. переход на выгульное содержание скота
3. использование кормовых добавок (цеолитов, комплексонов и др.)
4. использование кормов, обогащенных кальцием (бобовые травы и др.)

821. Территория объявляется зоной отчуждения при уровне загрязнения почвы ^{90}Sr

1. Более $3\text{Ки}/\text{км}^2$
2. Более $15\text{Ки}/\text{км}^2$
3. Более $40\text{Ки}/\text{км}^2$
4. Более $100\text{Ки}/\text{км}^2$

822. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах снижается при получении

1. сыра
2. кефира
3. кипяченого молока

823. С целью получения чистой продукции на загрязненных территориях недопустим

1. переход от производства зерновых культур к овощным
2. замена овцеводства на крупный рогатый скот
3. переход от зернового хозяйства к производству технических культур

831. Сильное загрязнение сельскохозяйственной продукции ^{131}I происходит в

1. первый период после аварии
2. второй период
3. третий период

832. При производстве продукции на загрязненной радионуклидами территории в меньшей мере загрязняется

1. говядина
2. баранина
3. свинина

833. К агротехническим мероприятиям по снижению загрязненности продукции растениеводства радионуклидами не относится
1. биологический вынос радионуклидов с урожаем с последующим их захоронением
 2. проведение глубокой вспашки с оборотом пласта
 3. снятие верхнего слоя почвы
 4. подбор культур с высокими коэффициентами накопления радионуклидов
 5. промывка почв химическими реагентами
841. Чтобы снизить содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в мясе, его следует
1. выварить в воде
 2. тушить в собственном соку
 3. жарить в масле
842. Расположите принципы организации ведения сельскохозяйственного производства в соответствии с увеличением уровня радиоактивного загрязнения земель
1. реперофилитрование хозяйства
 2. запрещение ведения сельского хозяйства
 3. без ограничений
 4. с обязательным введением приемов, снижающих загрязнение продукции
843. Территория объявляется зоной радиоактивного загрязнения, если годовая доза, которую население получает на данной территории от техногенного облучения, превышает
1. 3 мЗв/год
 2. 1 мЗв/год
 3. 2 мЗв/год
851. На территориях, загрязненных радионуклидами, для лесовосстановления наиболее пригодны
1. клен
 2. ель
 3. сосна
852. К технологическим приемам переработки растительной продукции, уменьшающим содержание радионуклидов в продукции, не относится
1. обрушение, удаление пленок с зерен риса, гречихи
 2. переработка овса на овсяные хлопья
 3. очистка картофеля
 4. переработка пшеницы на спирт
 5. удаление кроющих листьев капусты
853. К агротехническим мероприятиям по снижению загрязненности продукции растениеводства радионуклидами не относится
1. орошение
 2. биологический вынос радионуклидов с урожаем с последующим их захоронением
 3. снятие верхнего слоя почвы
 4. подбор культур с низкими коэффициентами накопления радионуклидов
 5. промывка почв химическими реагентами

861. Территория объявляется зоной отчуждения при уровне загрязнения почвы ^{137}Cs
1. Более 3 Ки/км²
 2. Более 15 Ки/км²
 3. Более 40 Ки/км²
 4. Более 100 Ки/км²
862. В третий период после радиационной аварии загрязнение растениеводческой продукции определяется
1. содержанием в выбросах аварии короткоживущих радионуклидов
 2. содержанием в выбросах аварии долгоживущих радионуклидов
863. С целью получения чистой продукции на загрязненных территориях недопустим(а)
1. замена растениеводства на лесное хозяйство
 2. замена животноводства на растениеводство
 3. переход от производства молока на мясное скотоводство
871. К технологическим приемам переработки, уменьшающим содержание радионуклидов в продукции, не относится
1. переработка сои на растительное масло
 2. переработка картофеля на крахмал и спирт
 3. измельчение кормов
 4. отмывка в проточной воде овощей и фруктов, очистка овощей
 5. маринование, квашение, засолка овощей
872. На территориях, сильно загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr , лучше отказаться от выращивания
1. технических культур
 2. кормовых культур
 3. семенного материала
873. К агротехническим мероприятиям по снижению загрязненности продукции растениеводства радионуклидами не относится
1. “откачка” радионуклидов в нецелевую растительную массу
 2. закрепление (иммобилизация) радионуклидов в почве
 3. боронование по всходам
 4. подбор культур с низкими коэффициентами накопления радионуклидов
 5. промывка почв химическими реагентами

4. 3. Метод изотопных индикаторов в агроэкологических исследованиях.

911. Авторадиография – метод регистрации
1. стандартной изотопной метки
 2. радиоактивной изотопной метки
912. Метод изотопных индикаторов основан на предположении, что свойства веществ с разным изотопным составом
1. почти одинаковы
 2. различны

913. Установите соответствие

А. Стабильные индикаторы Б. Радиоактивные индикаторы

1. ^2H
2. ^{18}O
3. ^{32}P
4. ^{59}Fe

914. Выберите неправильное утверждение

1. ^{32}P является удобной меткой для изучения миграции фосфора по пищевым цепям благодаря тому, что он является биогенным элементом, имеет небольшой период полураспада (14,3 суток) и является чистым β – излучателем.
2. Для изучения миграции насекомых и микроорганизмов (что очень важно для энтомологии, фитопатологии и защиты растений) используют стабильные изотопные индикаторы.
3. С помощью метода изотопных индикаторов можно определить поступление питательных веществ в растения из различных источников, например, из почвы и из внесенных в нее удобрений.

915. Для изучения транспирации растений нельзя использовать в качестве метки

1. Н
2. Д
3. Т

921. Установите соответствие

А. Стабильные метки Б. Радиоактивные метки

1. ^2H
2. ^{35}Cl
3. ^3H
4. ^{14}C

922. Для определения радиоактивных меток чаще используют

1. счетчики Гейгера
2. масс-спектрометры

923. Для контроля переноса загрязняющих веществ грунтовыми водами лучше использовать метки

1. стабильные
2. радиоактивные

924. Для изучения процессов фотосинтеза нельзя использовать метку

1. ^{12}C
2. Т
3. ^{14}C

925. Выберите неправильное утверждение

1. Изотопные эффекты – это различия в физических свойствах веществ, создающих разные изотопы одного и того же элемента (например, разные температуры плавления, температуры кипения веществ).
2. Для изучения эрозии почв можно использовать радиоактивную пыль, которая образовалась при ядерных взрывах, при этом скорость уменьшения γ –излучения почвы, загрязненной ^{137}Cs , будет пропорциональна скорости эрозии.
3. Метод изотопных индикаторов нарушает целостность организма и его основные жизненные проявления

931. Установите соответствие
- А. Изотопы, которые не могут быть метками
Б. Изотопы, которые могут быть метками
1. ^2H
 2. ^{24}Na
 3. ^2C
 4. ^7Be
932. Для изучения распределения меченых атомов в клетках используют
1. метод макрорадиографии
 2. метод микрофотографии
933. Радиоактивную метку легко обнаружить
1. сцинтилляционными методами
 2. хроматографическими методами
 3. спектрофотометрическими методами
934. Для изучения процессов миграции ДДТ в экосистемах можно использовать радиоактивную метку
1. ^{35}Cl
 2. ^{36}Cl
 3. ^{37}Cl
935. Выберите неправильное утверждение
1. При выборе изотопной метки для изучения миграции вещества по пищевым цепям учитывается биогенность элемента, период полураспада, период полувыведения и вид распада.
 2. Для определения норок животных под землей на глубине до 30 см или мест гнездования птиц на большом расстоянии от наблюдателя можно использовать стабильные изотопные индикаторы.
 3. Малая доступность стабильных меток для всех элементов и сложная техника является недостатком метода изотопных индикаторов с применением стабильных изотопов.
941. Установите соответствие
- А. Изотопы, которые могут быть метками
Б. Изотопы, которые не могут быть метками
1. ^{56}Fe
 2. ^{32}S
 3. ^{32}P
 4. ^{59}Fe
942. Сцинтилляционным методом регистрируют
1. стабильные метки
 2. радиоактивные метки
943. Стабильную метку можно обнаружить
1. масс – спектрометрически
 2. автордиографией
 3. камерами Гейгера-Мюллера

944. Для изучения процессов усвоения растениями и распределения в них фосфора нельзя использовать:

1. ^{32}P
2. ^{31}P

945. Выберите неправильное утверждение

1. Изотопные эффекты наиболее велики у изотопов легких элементов.
2. Используя стабильные метки, удобно следить за переносом воды, почвы, илистых фракций в реках; нефти и газа в скрытых трубопроводах; пестицидов в атмосфере.
3. Радиоактивная пыль, осевшая на почву или донные отложения после радиационной аварии на АЭС, фактически является радиоактивно меченой изотопами ^{90}Sr , ^{239}Pu или ^{137}Cs .

951. При изучении распределения усвоенных растениями питательных веществ методом меченых атомов используют

1. метод макрорадиографии
2. метод микрофотографии

952. Установите соответствие:

А. Изотопы, которые не могут быть метками

Б. Изотопы, которые могут быть метками

- 1) широко распространенные стабильные изотопы
- 2) редко встречающиеся стабильные изотопы
- 3) искусственные радионуклиды
- 4) естественные радионуклиды

953. Стабильную метку можно обнаружить

- 1) атомным адсорбционным анализом
- 2) сцинтилляционными методами
- 3) нейтронно-активационным анализом

954. Вредные последствия для организма могут быть вызваны

- 1) стабильными изотопами
- 2) радиоактивными изотопами

955. Выберите неправильное утверждение:

1. Для определения потребности растений в фосфоре используют фосфорные удобрения, содержащие P^{32} .
2. Преимущество стабильных радиоактивных меток – возможность их получения практически для всех элементов и определения с помощью доступной измерительной аппаратуры.
3. Метод автордиографии используют для определения мест локализации питательных веществ в тканях и органах растений и животных, в организме которых предполагается присутствие радиоактивных веществ или в которые были введены изотопные индикаторы.

961. Установите соответствие:

А. Изотопы, которые могут быть метками

Б. Изотопы, которые не могут быть метками

1. ^{45}Ca
2. ^{131}I
3. ^{40}Ca
4. ^{127}I

962. Авторадиография, используемая в методе изотопных индикаторов, является вариантом

- 1) фотографического метода регистрации радионуклидов
- 2) сцинтилляционного метода регистрации радионуклидов

963. Метод изотопных индикаторов исходит из того, что поведение меченых соединений в изучаемых процессах от поведения немеченых соединений

- 1) не отличается
- 2) отличается

964. В методе авторадиографии количество меченых атомов в тканях или органах определяют по

- 1) степени почернения фотопластинки
- 2) величине ионизационного тока

965. Выберите неправильное утверждение:

1. Используя радиоактивные метки, можно проследить за переносом солей, органических токсинов, балластных веществ удобрений в почве.
2. Метод авторадиографии используется для документального определения мест локализации стабильных изотопных индикаторов.
3. Жидкие радиоактивные отходы могут служить радиоактивной меткой, что было использовано для мечения гидробионтов реки Теча вблизи г. Кыштым (Челябинская область).

Периодическая система элементов Д.И. Менделеева

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	1 H 1,00797 Водород										2 He 4,0026 Гелий
2	3 Li 6,939 Литий	4 Be 9,0122 Бериллий	5 B 10,811 Бор	6 C 12,01115 Углерод	7 N 14,0067 Азот	8 O 15,9994 Кислород	9 F 18,9984 Фтор				10 Ne 20,183 Неон
3	11 Na 22,9898 Натрий	12 Mg 24,312 Магний	13 Al 26,9815 Алюминий	14 Si 28,086 Кремний	15 P 30,9738 Фосфор	16 S 32,064 Сера	17 Cl 35,453 Хлор				18 Ar 39,948 Аргон
4	19 K 39,102 Калий	20 Ca 40,08 Кальций	21 Sc 44,956 Скандий	22 Ti 47,90 Титан	23 V 50,942 Ванадий	24 Cr 51,996 Хром	25 Mn 54,938 Марганец	26 Fe 55,847 Железо	27 Co 58,9332 Кобальт	28 Ni 58,71 Никель	
	29 Cu 63,546 Медь	30 Zn 65,37 Цинк	31 Ga 69,72 Галлий	32 Ge 72,59 Германий	33 As 74,9216 Мышьяк	34 Se 78,96 Селен	35 Br 79,904 Бром				36 Kr 83,80 Криптон
5	37 Rb 85,47 Рубидий	38 Sr 87,62 Стронций	39 Y 88,905 Иттрий	40 Zr 91,22 Цирконий	41 Nb 92,906 Ниобий	42 Mo 95,94 Молибден	43 Tc [99] Технеций	44 Ru 101,07 Рутений	45 Rh 102,905 Родий	46 Pd 106,4 Палладий	
	47 Ag 107,868 Серебро	48 Cd 112,40 Кадмий	49 In 114,82 Индий	50 Sn 118,69 Олово	51 Sb 121,75 Сурьма	52 Te 127,60 Теллур	53 I 126,9044 Иод				54 Xe 131,30 Ксенон
6	55 Cs 132,905 Цезий	56 Ba 137,34 Барий	57 La * 138,81 Лантан	72 Hf 178,49 Гафний	73 Ta 180,948 Тантал	74 W 183,85 Вольфрам	75 Re 186,2 Рений	76 Os 190,2 Осмий	77 Ir 192,2 Иридий	78 Pt 195,09 Платина	
	79 Au 196,967 Золото	80 Hg 200,59 Ртуть	81 Tl 204,37 Таллий	82 Pb 207,19 Свинец	83 Bi 208,980 Висмут	84 Po [210] Полоний	85 At 210 Астат				86 Rn [222] Радон
7	87 Fr [223] Франций	88 Ra [226] Радий	89 Ac ** [227] Актиний	104 Db [261] Дубний	105 Lr [262] Лоренций	106 Rf [263] Резерфордий	107 Bh [262] Борий	108 Hn [265] Гангий	109 Mt [266] Мейтнерий		110

* ЛАНТАНОИДЫ

58 Ce 140,12 Церий	59 Pr 140,907 Празеодим	60 Nd 144,24 Неодим	61 Pm [145] Прометий	62 Sm 150,35 Самарий	63 Eu 151,96 Европий	64 Gd 157,25 Гадолиний	65 Tb 158,924 Тербий	66 Dy 162,50 Диспрозий	67 Ho 164,930 Гольмий	68 Er 167,26 Эрбий	69 Tm 168,934 Тулий	70 Yb 173,04 Иттербий	71 Lu 174,97 Лютеций
------------------------------------	---	-------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------------	--	---------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------

** АКТИНОИДЫ

90 Th 232,038 Торий	91 Pa [231] Протактиний	92 U 238,03 Уран	93 Np [237] Нептуний	94 Pu [242] Плутоний	95 Am [243] Америций	96 Cm [247] Кюрий	97 Bk [247] Берклий	98 Cf [249] Калифорний	99 Es [254] Эйнштейний	100 Fm [253] Фермий	101 Md [256] Менделевий	102 No [255] Нобелий	103 Lr [257] Лоуренсий
-------------------------------------	---	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	--	--	-------------------------------------	---	--------------------------------------	--

Приложение 2

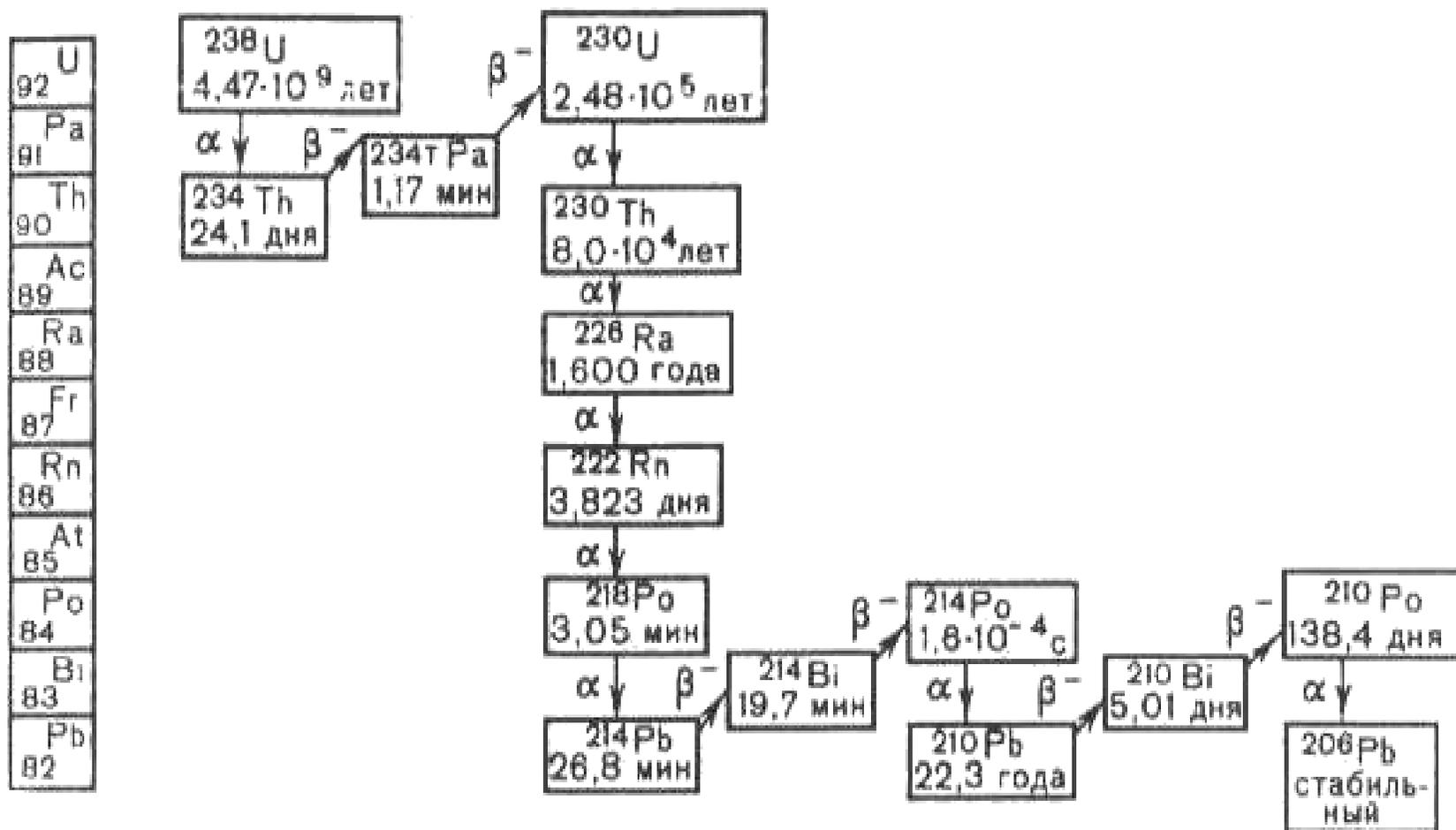
Характеристики ядерных распадов некоторых радионуклидов

Радионуклид	Период полураспада	Излучение		
		α	β	γ
РН	$T_{1/2}$			
H-3	12,3 лет		+	+
Be-7	53,4 сут			++
C-14	5730 лет		+	
Na-22	2,60 лет		+++	++
P-32	14,3 сут		+++	
S-35	87,4 сут		+++	+++
Cl-36	$3,01 \cdot 10^5$ лет		++	
K-40	$1,28 \cdot 10^9$ лет		++	++
Ca-45	163 сут		++	
Mn-52	5,59 сут			
Mn-54	312 сут			++
Fe-59	44,5 сут		++	+++
Co-60	5,272 года		++	+++
Zn-65	244 сут			+++
Sr-90	27,7 лет		++	
Y-90	2,67 сут			+++
Zr-95	64,0 сут		++	++
Ru-106	1,01 лет		+	
I-131	8,04 сут		++	++
Cs-137	30,0 лет		++	+
Ba-140	12,7 сут		+++	++
Ce-144	285 сут		++	+
Pb-207	22,3 года		+	+
Po-210	138 сут	++++		
Rn-222	3,82 сут	++++		
Ra-226	$1,60 \cdot 10^3$ лет	++++		+
Ra-228	5,75 лет	++++		
Th-232	$1,40 \cdot 10^{10}$ лет	++++		
U-235	$7,04 \cdot 10^8$ лет	++++		++
U-238	$4,47 \cdot 10^9$ лет	++++		
Pu-239	$2,41 \cdot 10^4$ лет	++++		++
Am-241	433 года	++++		+

В таблице приняты следующие обозначения величины энергии (МэВ)

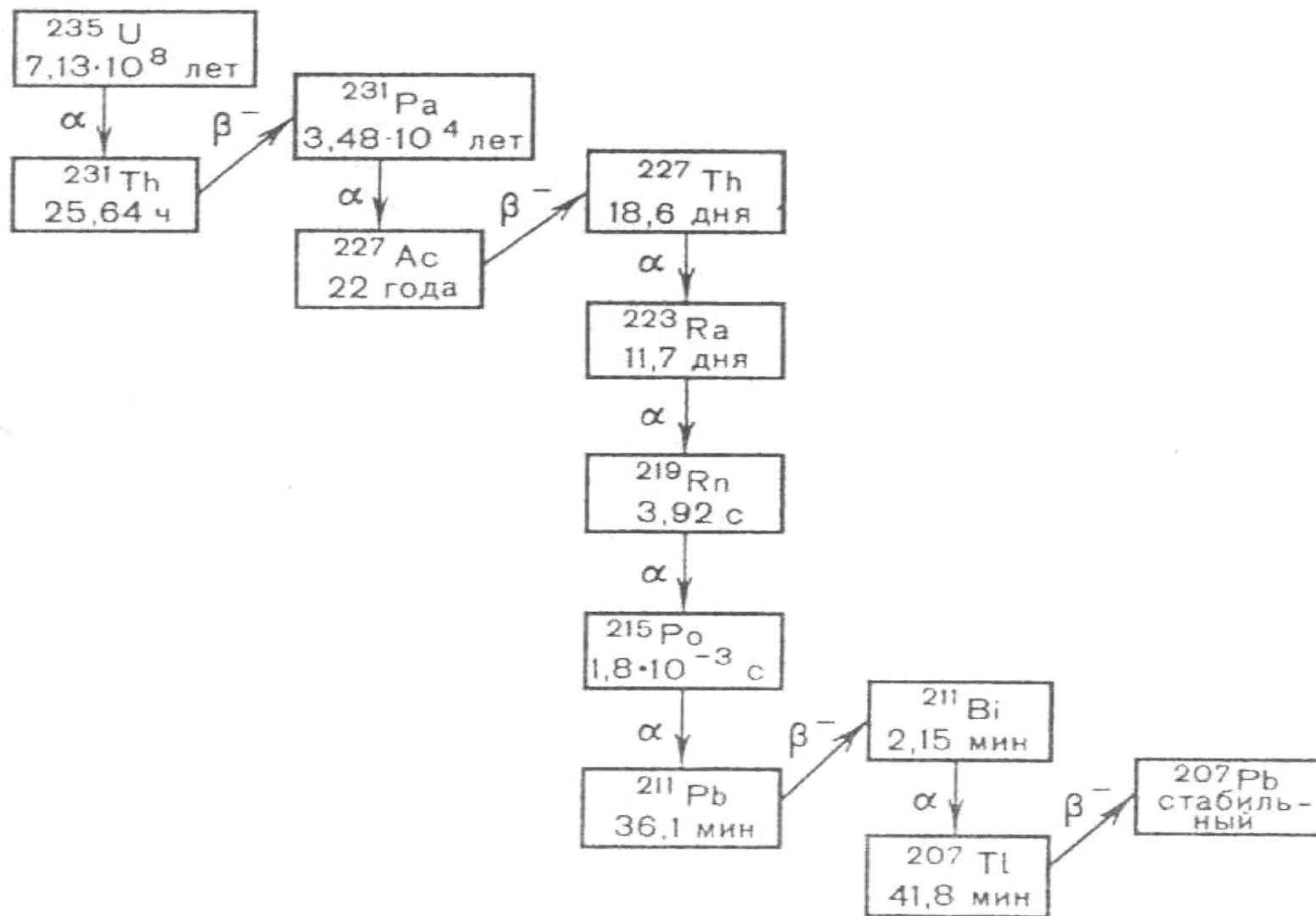
+ – меньше 0,2; ++ 0,2 – 1,0; +++ 1,0 – 3,0; ++++ – больше 3,0

Семейство урана ^{238}U



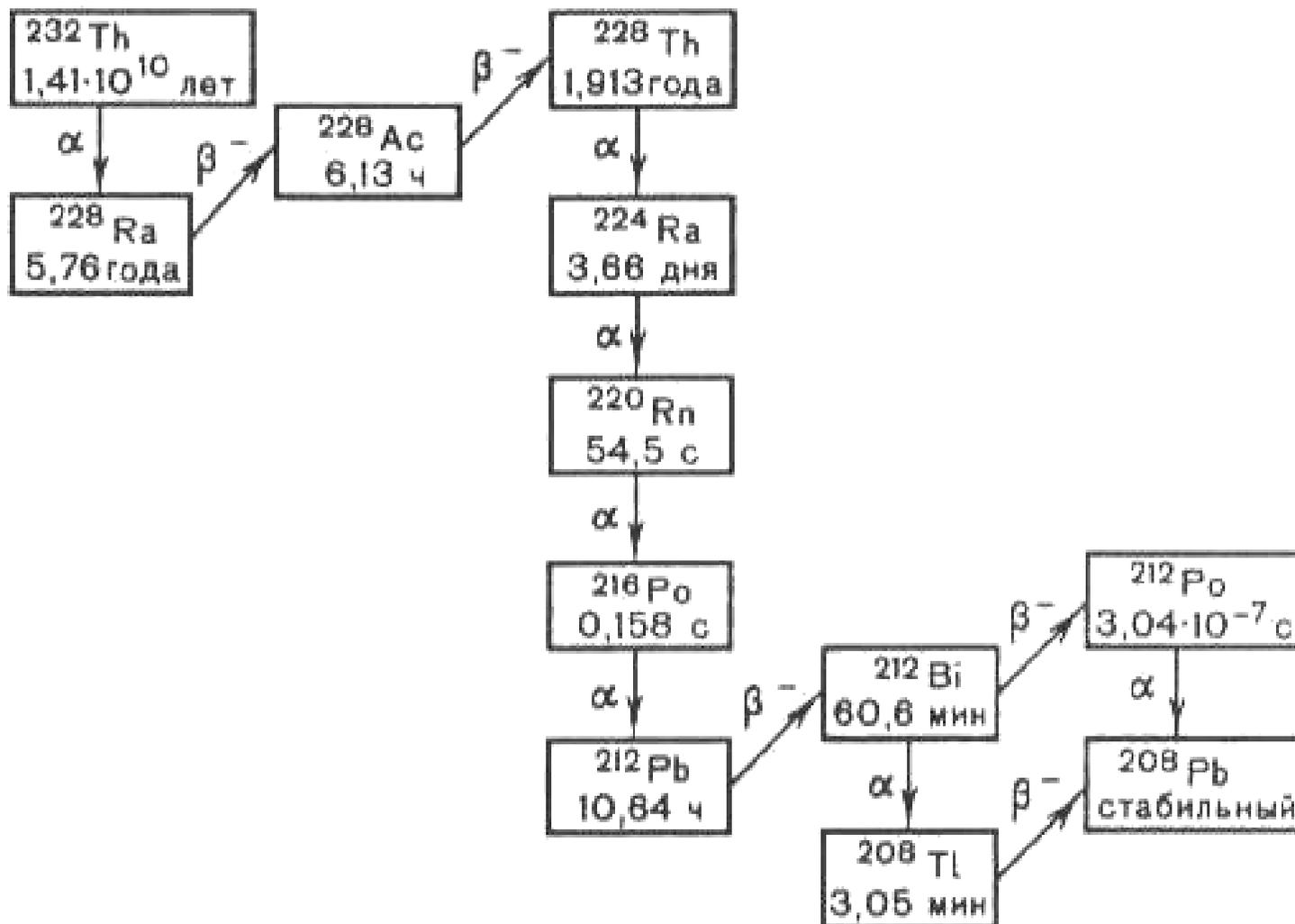
Семейство ^{235}U

U
92
Pa
91
Th
90
Ac
89
Ra
88
Fr
87
Rn
86
At
85
Po
84
Bi
83
Pb
82
Tl
81



Семейство ^{232}Th

Th	90
Ac	89
Ra	88
Fr	87
Rn	86
At	85
Po	84
Bi	83
Pb	82
Tl	81



Приложение 6
Распад и накопление радиоактивного изотопа

t/T	$e^{-\lambda t}$	$(1 - e^{-\lambda t})$	t/T	$e^{-\lambda t}$	$(1 - e^{-\lambda t})$
0,02	0,985	0,015	1,05	0,483	0,517
0,04	0,972	0,028	1,10	0,467	0,533
0,06	0,959	0,041	1,15	0,451	0,549
0,08	0,946	0,054	1,20	0,435	0,565
0,10	0,933	0,067	1,25	0,420	0,580
0,12	0,920	0,080	1,30	0,406	0,594
0,14	0,907	0,093	1,35	0,392	0,608
0,16	0,894	0,106	1,40	0,379	0,621
0,18	0,882	0,118	1,45	0,366	0,634
0,20	0,870	0,130	1,50	0,354	0,646
0,22	0,858	0,142	1,60	0,330	0,670
0,24	0,846	0,154	1,70	0,308	0,692
0,26	0,835	0,165	1,80	0,288	0,712
0,28	0,823	0,177	1,90	0,268	0,732
0,30	0,812	0,188	2,00	0,250	0,750
0,32	0,801	0,199	2,10	0,233	0,767
0,34	0,790	0,210	2,20	0,218	0,782
0,36	0,779	0,221	2,30	0,203	0,797
0,38	0,769	0,231	2,40	0,190	0,810
0,40	0,758	0,242	2,50	0,177	0,823
0,42	0,748	0,252	2,60	0,165	0,835
0,44	0,737	0,263	2,70	0,154	0,846
0,46	0,727	0,273	2,80	0,144	0,856
0,48	0,717	0,283	2,90	0,134	0,866
0,50	0,707	0,293	3,00	0,125	0,875
0,55	0,683	0,317	3,20	0,100	0,891
0,60	0,659	0,341	3,40	0,095	0,905
0,65	0,637	0,363	3,60	0,083	0,917
0,70	0,615	0,385	3,80	0,072	0,928
0,75	0,594	0,406	4,00	0,062	0,938
0,80	0,574	0,426	4,20	0,054	0,946
0,85	0,555	0,445	4,40	0,047	0,953
0,90	0,536	0,464	4,60	0,041	0,959
0,95	0,518	0,482	4,80	0,036	0,964
1,00	0,500	0,500	5,00	0,031	0,999

Приложение 7

**Множители и приставки
для образования десятичных кратных и дольных единиц в системе СИ,
их наименование и обозначение**

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{18}$	экса	T	Э
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{15}$	пета	P	П
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	тера	N	Т
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	гига	G	Г
$1\ 000\ 000 = 10^6$	мега	M	М
$1\ 000 = 10^3$	кило	k	к
$100 = 10^2$	гекто	h	г
$10 = 10^1$	дека	da	да
$0,1 = 10^{-1}$	деци	d	д
$0,01 = 10^{-2}$	санти	c	с
$0,001 = 10^{-3}$	милли	m	м
$0,000\ 001 = 10^{-6}$	микро	μ	мк
$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	нано	n	н
$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	пико	p	п
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	фемто	f	ф
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	атто	a	а

Соотношения между внесистемными единицами излучений и доз и единицами в системе СИ

Величина	Наименование единиц		Связь с единицей СИ
	Единица СИ	Внесистемная	
Активность	беккерель (Бк)	кюри (Ки)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$
Удельная активность	Бк/ кг	Ки/кг	$1 \text{ Ки/кг} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/ кг}$
Объемная активность	Бк/ м ³	Ки/ м ³	$1 \text{ Ки/ м}^3 = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/ м}^3$
Плотность загрязнения	Бк/ м ²	Ки/ м ²	$1 \text{ Ки/ м}^2 = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/ м}^2$
Экспозиционная доза	кулон/ кг Кл/кг	рентген	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощенная доза	грэй (Гр)	рад (рад)	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$
Мощность поглощенной дозы	Гр/с	рад/с	$1 \text{ рад/с} = 0,01 \text{ Гр/с}$
Эквивалентная доза	зиверт (Зв)	бэр (бэр)	$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$
Мощность эквивалентной дозы	Зв/с	Бэр/с	$1 \text{ бэр/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$

**Взвешивающие коэффициенты W_R для отдельных видов излучения
при расчете эквивалентной дозы (ОСПОРБ-99)**

Вид излучения	W_R
Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Протоны, кроме протонов отдачи, энергия более 2 МэВ	5
Альфа-частицы, осколки деления	20
Тяжелые ядра отдачи	20
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ	5
Нейтроны с энергией от 10 кэВ до 100 кэВ	10
Нейтроны с энергией от 100 кэВ до 2 МэВ	20
Нейтроны с энергией от 2 до 20 МэВ	10
Нейтроны с энергией более 20 МэВ	5

Взвешивающие коэффициенты W_T для тканей и органов при расчете эффективной дозы (ОСПОРБ-99)

Органы и ткани	W_T	Органы и ткани	W_T
Гонады	0,20	Щитовидная железа	0,05
Красный костный мозг	0,12	Грудная железа	0,05
Толстый кишечник	0,12	Печень	0,05
Легкие	0,12	Кожа	0,01
Желудок	0,12	Костные клетки	0,01
Мочевой пузырь	0,05	Остальное	0,05

Значения γ -постоянных для некоторых радионуклидов

Нуклиды	$K_\gamma, P \times \text{см}^2/\text{Г} \times \text{мКи}$
^{137}Cs	3,242
^{60}Co	13,5
^{131}I	2,156
^{140}Ba	1,094
^{226}Ra	8,4

**Коэффициенты для перехода от мощности экспозиционной дозы,
измеренной СРП-68-01 (мкР/ч),
в единицы активности (Ки/кг, Бк/кг или Бк/л)**

Объект	Коэффициенты К		Примечание
	при пере- воде мкР/ч в Ки/кг (или Ки/л)	при пере- воде мкР/ч в Бк/кг (или Бк /л)	
Все продукты	$0,12 \cdot 10^{-7}$	$0,45 \cdot 10^3$	В трехлитровом сосуде Мари- нелли
Молоко	$0,21 \cdot 10^{-9}$	6,67	В емкостях объемом более 1м^3 (например, цистерне)
Молоко	$0,12 \cdot 10^{-7}$	$0,45 \cdot 10^3$	В однолитровой банке
Животные, туши	$0,4 \cdot 10^{-8}$	$0,15 \cdot 10^3$	Со свинцовым экраном

Основные дозовые пределы (по НРБ- 99)

Нормируемые величины	Дозовые пределы	
	лица из персонала	лица из населения
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике коже кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

**Значения дозовых коэффициентов,
пределов годового поступления с водой с пищей
и уровни вмешательства при поступлении с водой радионуклидов
(для населения) (ОСПОРБ-99)**

Радионуклид	Поступление с водой и пищей		
	Дозовый коэффициент	Предел годового поступления	Уровень вмешательства
РН	мкЗв/Бк	ПП _{нас} , Бк / год	УВ, Бк/кг
⁵⁹ Fe	0,0013	77 000	77
⁶⁰ Co	0,027	37 000	41
⁹⁰ Sr	0,08	13 000	5,0
¹³¹ I	0,18	5 600	6,3
¹³⁷ Cs	0,013	77 000	11
²²⁶ Ra	1,5	$6,7 \cdot 10^2$	0,5
²²⁸ Ra	5,3	$1,9 \cdot 10^2$	0,2
²³² Th	0,45	$2,2 \cdot 10^3$	0,6
²³⁵ U	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$7,7 \cdot 10^3$	3,0
²³⁸ U	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$8,4 \cdot 10^3$	3,1
²³⁹ Pu	0,42	2 400	0,56

Приложение 15

Гигиенические требования к качеству питьевой воды (СанПиН 2.1.4.559–96)

Показатели	Единицы измерения	Нормативы	Показатель вредности
Общая α - активность	Бк/л	0,1	радиационный
Общая β - активность	Бк/л	1,0	радиационный

Приложение 16

Соотношения между внесистемными единицами излучений и доз и единицами в системе СИ

Величина	Наименование единиц		Связь с единицей СИ
	Единица СИ	Внесистемная	
Активность	беккерель (Бк)	кюри (Ки)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$
Удельная активность	Бк/ кг	Ки/кг	$1 \text{ Ки/кг} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/ кг}$
Объемная активность	Бк/ м ³	Ки/ м ³	$1 \text{ Ки/ м}^3 = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/ м}^3$
Плотность загрязнения	Бк/ м ²	Ки/ м ²	$1 \text{ Ки/ м}^2 = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/ м}^2$
Экспозиционная доза	кулон/ кг Кл/кг	рентген	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощенная доза	грэй (Гр)	рад (рад)	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$
Мощность поглощенной дозы	Гр/с	рад/с	$1 \text{ рад/с} = 0,01 \text{ Гр/с}$
Эквивалентная доза	зиверт (Зв)	бэр (бэр)	$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$
Мощность эквивалентной дозы	Зв/с	Бэр/с	$1 \text{ бэр/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$

Приложение 17

**Дозовые коэффициенты и пределы годового поступления (ПГП)
радионуклидов в организм человека (для населения) (ОСПОРБ-99)**

Радионуклид	Дозовый коэффициент, мкЗв/Бк		ПГП _{нас} , Бк / год	
	с водой и пи- щей	с воздухом	с водой и пищей	с воздухом
⁹⁰ Sr	0.08	0.05	13 000	20 000
¹³¹ I	0,18	0.072	5 600	14 000
¹³⁷ Cs	0,013	0.0046	77 000	220 000
²³⁹ Pu	0,42	50	2 400	20

Приложение 18

Среднее годовое потребление продуктов питания (ГП)

Продукт	Количество, кг/год
Хлеб	100
Картофель	120
Овощи	70
Молоко и молочные продукты	300
Мясо	60

**Содержание ¹³⁷Cs в продукции в зависимости от плотности загрязнения
почвы, коэффициенты перехода, КП* ([Бк/кг]/ [Ки/км²])**

Культуры	Дерново-подзолистые почвы					Серые лесные средне- сугли- нистые	Чер- но- земы выще- лочен- ные	Чер- но- земы ти- пич- ные
	пес- чаные	супес- чаные	легко- сугли- нистые	средне- сугли- нистые	тяже- лосу- гли- нистые			
Травы с естествен- ных угодий (сено)	740	600	530	450	370	400	200	150
Сеяные травы (сено)	220	150	100	60	40	40	40	40
Вико-овсяная смесь (зеленый корм)	40	20	15	5	2	2	2	2
Кукуруза на силос	20	10	4	3	2	3	1	0,7
Кормовая свекла	35	15	12	4	1,5			
Овес (зерно)	7	6	5	5	4	3	2	2
Ячмень (зерно)		7	5	4	2	3	2	2
Яровая пшеница (зерно)	20	7	5	4	3	4	2	1
Озимая пшеница (зерно)	10	3	2,5	2	1,5	2	1	0,5
Озимая рожь (зерно)	8	2,8	2,3	1,8	1,3	1,5	1	0,5
Картофель (клубни)	10	7	6	4	3	3	2	2
Свекла столовая	20	15	12	9	7	6	4	3
Морковь	10	8	7	5	4	5	4	3
Капуста поздняя	7	4	3	1,3	1	1,2	0,8	0,5
Огурцы	1,2	0,9	0,8	0,6	0,4	0,5	0,3	0,2
Помидоры	1,0	0,8	0,7	0,5	0,3	0,5	0,3	0,2
Зеленные овощные	3	2	2	1,5	1			

**Содержание ^{90}Sr в продукции в зависимости от плотности загрязнения
почвы, коэффициенты перехода, КП* ([Бк/кг]/ [Ки/км²])**

Культуры	Дерново-подзолистые почвы					Серые лесные средне- сугли- нистые	Черно- земы выще- лочен ные	Чер- но- земы ти- пич- ные
	пес- чаные	супес- чаные	легко- сугли- нистые	средне- сугли- нистые	тяже- ло- сугли- нистые			
Травы с естествен- ных угодий (сено)	10000	6000	4000	2500	1500	2000	500	250
Сеяные травы (сено)	2000	1500	1000	400	300	500	100	50
Вико-овсяная смесь (зеленый корм)	220	150	120	90	50	70	20	10
Кукуруза на силос	450	300	250	150	100	150	60	40
Кормовая свекла	150	100	80	70	60			
Овес (зерно)	220	150	110	70	50	60	20	15
Ячмень (зерно)	150	100	80	65	60	70	20	15
Яровая пшеница (зерно)	120	100	70	50	30	45	20	15
Озимая пшеница (зерно)	40	30	25	15	10	15	5	4
Озимая рожь (зерно)	40	30	25	15	10	15	5	4
Картофель (клубни)	100	75	65	50	30	40	6	4
Свекла столовая	220	150	110	80	60	70	30	12
Морковь	100	80	60	45	30	40	25	20
Капуста поздняя	45	30	25	15	10	12	5	4
Огурцы	60	40	20	15	10	13	6	5
Помидоры	25	20	15	8	5	6	3	2
Зеленные овощные	600	400	300	200	150			

**Коэффициенты потерь радионуклидов в процессе переработки
растениеводческой продукции ($k_{\text{пш}} = a_{\text{пр}} / a_{\text{р}}$)**

Вид переработки	$k_{\text{пш}}$	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Помол зерна на муку	0,5	0,5
Промывка и очистка овощей	0,6	0,6
Промывка и очистка картофеля	0,8	0,8

**Допустимые уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в некоторых продуктах
питания, устанавливаемые нормативными документами России,
Беларуси и Украины (Бк/кг, Бк/л)**

Наименование продукта	^{137}Cs				^{90}Sr
	Россия, ВДУ-93	Россия, СанПиН -96	Украина, ДУ-97	Беларусь, РДУ-96	Россия, ВДУ-93
Молоко и молокопродукты	370	50	100	111	37
Мясо и мясопродукты	600	160	200	600	37
Хлеб и хлебобпродукты	370	40	20	74	37
Картофель	600	320	60	100	37
Овощи	600	120	40	100	37
Детское питание	185	40	40	37	3,7

Уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах питания (СанПиН 23.2.560-96)

Продукт	Удельная активность, Бк/кг(л)	
	^{137}Cs	^{90}Sr
Мясо без костей и мясопродукты	160	50
Молочные продукты (в пересчете на исходный продукт)	50	25
Молочные продукты сухие	360	200
Сыры	50	100
Рыба, морепродукты	130	100
Зерно продовольственное	80	140
Крупы, мука	60	100
Макаронные изделия	60	80
Хлебобулочные изделия	40	70
Сухарные и мучные кондитерские изделия	50	80
Сахар, конфеты на сахарной основе	140	100
Мед	100	80
Картофель	320	60
Свежие фрукты, ягоды, виноград, соки	40	50
Грибы	500	50
Сухие грибы	2500	250
Джемы, варенье, конфитюры, сиропы и др.	80	70
Масло растительное, жир-сырец животный	60	80
Масло коровье	100	60
Питьевая вода	8	8

**Контрольные уровни (КУ) содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах
и кормовых добавках, импортируемых и произведенных в России
(№13-7-2/216 от 1.12.94)**

Виды кормов и добавок	КУ, БК/КГ.Л	
	$^{134, 137}\text{Cs}$	^{90}Sr
Грубые корма: сено, солома, мякина	600	100
Сочные корма: силос, сенаж, корнеплоды и др.	600	100
Зеленый корм: травы естественные, сеянные и др.	370	50
Концентрированные корма: зерно злаков, бобовых, отруби, комбикорма	600	65
Жом, меласса, жмых, шрот, мезга, барда и др.	600	100
Мясо, рыба, субпродукты	600	100
Корма сухие животного происхождения, мясные, мясокостные, мука кормовая	600	100
Консервы кормовые животного происхождения с растительными и др. добавками	600	100
Молоко и заменители молочных кормов	370	50
Сухие молочные смеси и заменители	600	100
Белково-витаминные и минеральные добавки, премиксы, корма микробиологического синтеза	370	50

**Коэффициенты пересчета содержания радионуклидов
в 20-дневных растениях для прогноза загрязненности урожая**

¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr		
Культура	Зерно, клубни	Солома, ботва	Культура	Зерно, клубни	Солома, ботва
Овес	0,20	0,45	Овес	0,050	0,70
Ячмень	0,20	0,50	Ячмень	0,035	0,50
Яровая пшеница	0,22	0,46	Яровая пше-	0,060	0,60
Гречиха	0,21	0,39	ница	0,045	0,70
Вика	0,53	0,72	Гречиха	0,040	1,25
Картофель	0,56	0,70	Вика	0,035	0,70
			Картофель		

Примечание. Коэффициенты пересчета приведены в расчете на воздушно-сухую массу урожая.

**Коэффициенты перехода радионуклидов из суточного рациона кормов
в 1 кг(л) животноводческой продукции (КП_{рац})**

Переход	КП _{рац}	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
корма → мясо говяжье	0,04	0,0006
Молоко → коровье	0,01	0,001

Суточный рацион кормления животных, кг/сутки (СР)

Корма	Количество, кг/сутки
Сено многолетних трав	4
Кукуруза на силос	20
Концентраты (зерно ячменя)	2

**Критерии экологического состояния территорий,
подвергшихся радиоактивному загрязнению**

№	Параметры	Экологическое состояние		
		Удовлетвори- тельная ситуация	Чрезвычайная эколо- гическая ситуация	Экологическое бедствие
1	Мощность экс- позиционной до- зы на уровне 1 м от поверхности почвы, мкР/ч	до 20	200-400	более 400
2	Плотность загрязнения, Ки/км ² , ¹³⁷ Cs	до 1	15-40	более 40
	Плотность загрязнения, Ки/км ² , ⁹⁰ Sr	до 0,3	1-3	более 3
	Ри (сумма изо- топов)	-	более 0,1	
3	Эффективная доза облучения, мЗв/год	менее 1	5-10	более 10

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

Мероприятия	Кратность снижения	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Поверхностное улучшение лугов:		
- фрезерование дернины	1,5	2,5
- вспашка	2,5	3,5
Коренное улучшение лугов и пастбищ (с внесением минеральных удобрений и извести)	2-5 (до 10)	2-4
Заглубленная вспашка с оборотом пласта	10	10
Известкование кислых почв	2-3	3-7 (до 20)
Минеральные удобрения (РК - 1,5-2 ^x дозы)	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	3	1,5-2
Совместное проведение всех мероприятий	4-5	4-5
Осушительная мелиорация на торфяно-болотных и глеевых почвах	3-10	3-10
Орошение с использованием минерализованных вод	1,3-2,5	3-6 (до 20)

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

Мероприятия	Кратность снижения накопления	
	¹³⁷ Cз	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	2-10	2-10
Срезание головок корнеплодов, удаление кроющих листьев	2-10	2-10
Производство осветленных соков	2,5-3	
Производство компотов, варений, джемов	2	2
Получение сахара из сахарной свеклы	700	500
Переработка картофеля на крахмал	50	
Переработка зерна на крахмал	50	
Переработка зерна на спирт	1000	
Переработка молока на:		
обезжиренное молоко	1,2	1,1
сливки	7	10-15
творог обезжиренный	10	8
масло	40	70
масло топленое	>100	>100
Обмывание мясных туш проточной водой	1,15-1,25	
Непродолжительное вымачивание мяса в воде или солевом растворе	2-3	
Вываривание мяса (около 0,5 часа)	3-6	1,5-2
Перетапливание сала	20	20

Список использованной литературы

Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии.- / Б.Н. Анненков
Е.В. Юдинцева.- М.: Агропромиздат,1991.-287с.

Ваганов П.А. Ядерный риск: Учеб. пособие /П.А. Ваганов. – СПб.: Изд-во С.-
Петербур.ун-та,1997. -112с.

Ведение сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения
/Козьмин Г.В.,Круглов С.В., Курганов А.А. и др. Учебное пособие. /Под ред. Г.В.
Козьмина и С.В.Круглова. – Обнинск, 1999.

Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного
сырья и пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.560-96. –М., 1997.- 269с.

Краткий курс радиохимии /Под ред. А.В. Николаева. –М.: Высшая школа,
1969. -335с.

Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы
Земли /А.М. Кузин.– М.: Наука, 1989.- 224 с.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Гигиенические нормативы ГН
2.6.1.758.-99.-М.:Госкомсанэпиднадзор РФ,1999.-116с.

Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасно-
сти(ОСПОРБ -99).-М.: Минздрав России,-2000.-99с.

Радиация. Дозы, эффекты, риск./Пер. с англ. М.:Мир, 1990.-79с.

Радиоактивные беды Урала/ Под ред. В.И. Уткина.-Екатеринбург:УрО
РАН,2000.-94с.

Радиобиология/А.Д. Белов, В.А. Киршин, Н.П. Лысенко, В.В. Пак и др.;Под
ред. А.Д. Белова.-М.: Колос,-1999.

Сборник задач по радиохимии /Под ред. И.А. Коршунова. –М.: Высшая шко-
ла, 1969. -149с.

Сельскохозяйственная радиозэкология /Под ред.Р.М.Алексахина,
Н.А.Корнеева. - М.: Экология,-1992.

Симак С.В., Серых М.М., Самыкина Л.Н. Сельскохозяйственная радиобио-
логия с основами радиозэкологии.- Самара: Издательство СГСХА, 1998.-267с.

Симонова Т.П. Основы радиозологии: Учеб.пособие / Т.П Симонова.- Пермь:Изд-во Перм. Ун-та,2001.-155с.

Смирнов С.Н. Радиационная экология: Учеб. пособие./ С.Н. Смирнов.- М.:Изд-во МНЭПУ, 2000.-334с.

Тестов Б.В. Основы радиационной биологии и экологии: Учебное пособие/ Перм. ун-т.-Пермь, 2000.-153с.

Торшин С.П. Практикум по сельскохозяйственной радиозологии /С.П. Торшин, Г.А. Смолина, А.С. Пельтцер/ Под ре. А.Д. Фокина.- М.: Изд-во МСХА,2001.-84с.

Усманов С.М. Радиация: Справочные материалы / С.М. Усманов.- М.:Гуманит. Изд. Центр ВЛАДОС,2001.-176с. .

Фокин А.Д. Прогноз и пути снижения дозовых нагрузок на население при ведении сельбского хозяйства в условиях радионуклидных загрязнений / А.Д. Фокин, С.П. Торшин, Г.А. Зинченко. – М.: Изд-во ЦУРСМ,1999.-69 с.

Фокин А.Д. Сельскохозяйственная радиология /А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Торшин. – М.: Дрофа, 2005. -367с.

Шульц В., Уикер Ф. Радиозологические методы: Пер. с англ./ Под ред. Р.М. Алексахина. М.: Мир,1985.- 305с.

Ярмоненко С. П. Радиобиология человека и животных: Учеб. для биол. спец. 3-е изд. / С.П. Ярмоненко. – М.: Высшая школа, 1988.- 424 с.