

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И АГРОБИЗНЕСА**

**КАФЕДРА АГРОХИМИИ, ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ**

Силаев А.Л.  
Смольский Е.В.

***СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
РАДИОЛОГИЯ***

**Учебно-методическое пособие**

**БРЯНСК 2022**

УДК 63:615.849 (076)

ББК 40.15

С 36

Силаев, А. Л. Сельскохозяйственная радиология: учебно-методическое пособие / А. Л. Силаев, Е. В. Смольский. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. – 72 с.

Авторы:

к.с.-х.н., доцент кафедры агрохимии, почвоведения и экологии Силаев А.Л.;

д.с.-х.н., доцент кафедры агрохимии, почвоведения и экологии Смольский Е.В.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с ФГОС ВО: по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение (профиль Агроэкология) утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 702 от 26 июля 2017 года – **ОПК-3: Способен создавать и поддерживать безопасные условия выполнения производственных процессов.**

В результате освоения дисциплины студент должен:

**знать:** механизм образования радиоактивного излучения; свойства радиоактивных излучений и опасность их для живых организмов; методы регистрации радиоактивного излучения, методику применения радиоактивных изотопов в решении научных и производственных задач; источники загрязнения окружающей среды радионуклидами; влияние свойств почвы на закрепление радионуклидов для разработки элементов;

**уметь:** подбирать дозиметрическую аппаратуру и ставить защиту от действия радиоактивного излучения, использовать радиометрическую аппаратуру для решения научных и производственных задач, прогнозировать уровень загрязнения окружающей среды и разрабатывать мероприятия по удалению радиоактивных загрязнений для разработки элементов системы земледелия и экологически безопасных технологий возделывания сельскохозяйственных культур;

**владеть:** методами регистрации радиоактивных излучений; методиками удаления радиоактивных загрязнений.

Рецензент: Чекин Г.В. – к.с.-х.н., доцент кафедры агрохимии, почвоведения и экологии ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Рекомендовано к изданию методической комиссией института экономики и агробизнеса Брянского государственного аграрного университета, протокол №3 от 11 февраля 2022 года.

© Силаев А.Л., 2022

© Смольский Е.В., 2022

© Брянский ГАУ, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

<b>Введение</b> .....	4
<b>Занятие 1.</b> Техника безопасности при работе источниками ионизирующих излучений.....	4
<b>Занятие 2.</b> Основные понятия и термины.....	10
<b>Занятие 3.</b> Единицы доз излучения и радиоактивности. Решение задач по переходу от внесистемных единиц к единицам системы СИ и наоборот.....	15
<b>Занятие 4.</b> Приборы дозиметрического и радиометрического контроля.....	18
<b>Занятие 5.</b> Измерение уровня гамма-радиации с помощью радиометров СРП-68-01, МКС и ДКС.....	23
<b>Занятие 6.</b> Работа на стационарном радиометре "Бета". Определение объемной и удельной активности бета – излучающих нуклидов.....	27
<b>Занятие 7.</b> Определение удельной и объёмной активности цезия-137 в воде, поч- ве, сельхозпродукции. Работа на радиометрах РУБ - 01П6 и УСК «Гамма- Плюс».....	30
<b>Занятие 8.</b> Радиологическое обследование сельскохозяйственных угодий.....	34
<b>Занятие 9.</b> Оценка скорости выведения из организма радионуклидов.....	39
<b>Занятие 10.</b> Расчет эффективной дозы облучения, получаемой человеком за год.....	46
<b>Занятие 11.</b> Принципы нормирования в области радиационной безопасности.....	56
<b>Занятие 12.</b> Проблемы производства экологически безопасной продукции в условиях радиоактивного загрязнения.....	59
<b>Занятие 13.</b> Прогнозирование поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию.....	65
<b>Темы рефератов</b> .....	69
<b>Список использованных источников литературы</b> .....	71

## Введение

Сельскохозяйственная радиология - сравнительно молодая и развивающаяся область знаний. Можно выделить две крупные и в известном смысле разнонаправленные научно-прикладные проблемы, которые изучает и решает эта наука: первая - разработка и внедрение эффективных защитно-профилактических мер, связанных с действием радиации и радиоактивных загрязнений в сфере агропромышленного комплекса (АПК) и природопользования; вторая - применение радиоактивных изотопов и излучений в качестве инструмента для решения научных и практических задач экологии, природопользования, сельскохозяйственного производства.

Важнейшей практической задачей сельскохозяйственной радиологии является обучение методам контроля и прогнозирования радиоактивных загрязнений продуктов питания и кормов, а также способам предотвращения серьезных последствий от воздействия радиации (радиометрия, дозиметрия и защита от излучений).

В круг задач сельскохозяйственной радиологии входит изучение воздействия радиации и радиоактивных загрязнений на биоту и человека через объекты природы и производства - почву, удобрения, воду, воздух, декоративные растения, пищевые продукты, дикорастущие ягоды и грибы, дичь и рыбу.

Таким образом, сельскохозяйственная радиология нацелена на решение актуальной гуманитарной задачи обеспечения комфортной и безопасной среды обитания человека в условиях реальных и потенциальных радионуклидных загрязнений.

## Занятие 1

### Техника безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений

#### *Цель работы:*

Изучить правила техники радиационной безопасности.

Опасность работ с источниками ионизирующих излучений (ИИИ) для здоровья человека связана с биологическим действием радиации. Особенность ее действия заключается в том, что:

- 1) у человека нет органов чувств, восприимчивых к ионизирующему излучению, т.е. он не может вовремя почувствовать опасность;
- 2) физиологическое действие ионизирующих излучений на человека проявляется не сразу, а по истечении некоторого, иногда довольно длительного времени (дни, недели, иногда годы);
- 3) генетическое, мутационное действие ионизирующих излучений может проявиться только в последующих поколениях.

В этой связи при проведении работ с радиоактивными веществами студенты должны *строго соблюдать* правила радиационной безопасности, обеспечивающие нормальные, безопасные для здоровья человека условия работы.

В настоящее время биологическое действие радиации, изучением которого занимается наука радиобиология, хорошо изучено. На базе этих знаний, многолетнего опыта и научных исследований разрабатываются правила техники радиационной безопасности, т.е. правила безопасной работы с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями. Занимается этими вопросами такая наука, как *радиационная гигиена*, - одно из ответвлений медицинской радиобиологии.

На сегодняшний день основными документами, регламентирующими требования по защите людей от вредного радиационного воздействия при всех условиях облучения от ИИИ, являются:

- Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;
- Федеральный закон от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»;
- СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»;
- СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010».

В Федеральном законе «О радиационной безопасности населения» говорится, что под *радиационной безопасностью населения* понимают «состояние

защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения», т.е. обеспечение таких условий использования источников ионизирующего излучения и состояния внешней среды, при которых исключается недопустимый риск вредного влияния ионизирующего излучения на здоровье людей, как в настоящем, так и в будущем.

Самыми общими требованиями техники радиационной безопасности являются следующие положения.

1. К работе с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями допускаются только лица, достигшие 18 лет, которые прошли специальное медицинское обследование состояния здоровья и были признаны по результатам этого обследования пригодными к указанной работе. Беременные женщины к такой работе не допускаются.

Устанавливаются следующие *категории облучаемых лиц: персонал* (группы А и Б) и *все население*, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности. Для этих категорий различаются допустимые пределы облучения: 20 мЗв в год - для персонала (группы А) и 1 мЗв в год для населения. Студенты и учащиеся старше 16 лет во время прохождения профессионального обучения с использованием источников излучения относятся к категории персонал (группа Б), и для них допустимые уровни воздействия составляют 1/4 от нормативов для группы А.

2. Перед началом работы с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями каждый работник должен пройти специальное обучение (инструктаж) и сдать соответствующий экзамен по технике радиационной безопасности.

3. Все работы с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями должны проводиться в условиях строжайшего соблюдения правил радиационной безопасности и при наличии постоянного контроля со стороны лиц, ответственных за радиационную безопасность.

4. В помещениях, где проводятся работы с радиоактивными веществами, запрещается:

- пребывание без необходимых средств индивидуальной защиты;
- хранение пищевых продуктов, табачных изделий, косметики, домашней одежды и других предметов, не имеющих прямого отношения к выполняемым работам;
- прием пищи, курение, пользование косметикой.

Кроме того, в каждой лаборатории должны строго соблюдаться правила, связанные с конкретной спецификой работы.

С точки зрения техники безопасности все работы с радиоактивными веществами разделяются на два вида: на работу с *закрытыми* источниками иони-

зирующих излучений и на работу с *открытыми* источниками. *Закрытыми источниками ионизирующих излучений* называются такие источники, устройство которых исключает попадание радиоактивных веществ в воздух рабочего помещения. *Открытые источники ионизирующих излучений* способны попадать в окружающую среду. Поэтому требования к безопасной работе с ними разрабатываются отдельно.

### **Правила радиационной безопасности при работе с закрытыми источниками ионизирующих излучений**

Главной опасностью для человека при работе с закрытыми ИИИ является *внешнее облучение*. Величина воздействия при таком облучении, единицей измерения которого является доза облучения, зависит от вида излучения, его энергии и проникающей способности, активности ИИИ, расстояния до источника и от времени воздействия. Регулируя все эти показатели, можно снизить дозу внешнего облучения человека.

Выделяют следующие основные принципы обеспечения радиационной безопасности: *защита количеством, временем, расстоянием и экранами*.

*Защита количеством* предполагает уменьшение активности на рабочем месте, т.е. проведение работы с минимальным количеством радиоактивного вещества, обеспечивающего выполнение поставленной задачи.

*Защита временем* основана на сокращении времени контакта с источником ионизирующего излучения, например проведение всех подготовительных работ вдали от источника или использование «холостого» (пробного) опыта, когда все необходимые операции проводятся без радиоактивных веществ.

*Защита расстоянием* - один из самых простых и надежных способов защиты. При работе с точечным источником излучения (очень небольших размеров) доза облучения человека обратно пропорциональна квадрату расстояния, поэтому увеличение расстояния - это еще и один из самых действенных способов защиты. В работе применяются, например, дистанционные средства (ручные манипуляторы), позволяющие переносить источник излучения или проводить с ним какие-то операции на некотором расстоянии.

Необходимость использования *защитных экранов* и материал для их изготовления зависят от вида и энергии ионизирующего излучения. Для работы с источниками гамма-излучения ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) необходимы экраны из материалов с высокой плотностью: свинец или специальное стекло, содержащее свинец, - тяжелый флинт. Для работы с источниками бета излучения высоких энергий ( $P$ ,  $Y$ ) лучше пользоваться экранами из легких материалов, например, плексиглас или алюминий, а для защиты от потока нейтронов - экранами из материалов, содержащих большое количество атомов водорода (например, вода хорошо за-

медляет потоки нейтронов). Для защиты от бета-излучения низких энергий ( $^{14}\text{C}$ ) или альфа-излучения экраны вообще не требуются, так как эти виды излучения обладают низкой проникающей способностью и не представляют опасности при внешнем облучении.

При работе с источниками излучений в закрытом виде *нельзя* выносить их за пределы радиоизотопной лаборатории, а также повреждать защитные покровные материалы. При визуальном обнаружении разгерметизации необходимо поставить в известность преподавателя или лаборанта.

В случае если работы проводятся с небольшими количествами радиоактивных веществ, а именно если активность их на рабочем месте меньше минимально значимой активности - МЗА, установленной нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 (для  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , например, МЗА составляет  $10^4$  Бк), то работы квалифицируются как обычные процедуры с материалами, не содержащими радиоактивные вещества. Контакт с такими закрытыми ИИИ исключает соматический и генетический ущерб здоровью вне зависимости от возраста, пола и состояния (беременные, кормящие женщины).

### **Правила радиационной безопасности при работе с открытыми источниками ионизирующих излучений**

Защита от открытых источников ионизирующих излучений предусматривает как защиту от *внешнего облучения*, так и защиту персонала от *внутреннего облучения*, связанного с возможным проникновением радиоактивных веществ в организм через органы дыхания, пищеварения или через кожу.

Все работы с использованием открытых источников излучения разделяются на три класса в зависимости от группы радиационной опасности радионуклида и его активности на рабочем месте. Самые строгие меры предъявляются к работам I класса.

Классом работ определяются и требования к помещению, где проводятся работы, и к оборудованию. Помещения планируются так, чтобы работа с радиоактивными веществами была максимально изолирована от помещений и участков, имеющих другое функциональное предназначение. Например, помещения для работ I класса должны размещаться в отдельных зданиях или изолированной части здания, имеющей отдельный вход. Помещения для работ II класса должны размещаться изолированно от других помещений; работы III класса могут проводиться в отдельных, специально выделенных комнатах.

При обучении студентов работы обычно относятся к III классу или, при содержании радионуклидов на рабочем месте меньше МЗА, квалифицируются как обычные процедуры с материалами, не содержащими радиоактивные вещества.

При работе с открытыми ИИИ применяют все приемы, использующиеся

при работе с закрытыми ИИИ, а также дополнительные приемы, снижающие вероятность внутреннего облучения.

Помещения радиоизотопных лабораторий должны быть оборудованы вытяжными шкафами или боксами. Причем вытяжные шкафы должны отличаться прочностью, чтобы была возможность установить тяжелые свинцовые экраны, и иметь большие размеры, чтобы можно было увеличить расстояние от источника излучения до человека (*защита расстоянием*).

Полы, стены помещений и рабочие поверхности должны быть покрыты слабо сорбирующими материалами, чтобы легче было проводить дезактивацию и не иметь дефектов покрытия.

Для ограничения загрязнения рабочих поверхностей, оборудования и помещений все работы с радиоактивными веществами должны проводиться на специальных лотках и поддонах с использованием пластиковых пленок, фильтровальной бумаги и других материалов разового пользования.

Количество радиоактивных веществ на рабочем месте должно быть минимально необходимым для работы. При возможности выбора радиоактивных веществ следует использовать вещества с меньшей группой радиационной опасности: растворы, а не порошки; растворы с наименьшей удельной активностью (*защита количеством*).

Число операций, при которых возможно радиоактивное загрязнение помещений и окружающей среды (пересыпание порошков, возгонка), следует сводить к минимуму. Выполнять в первую очередь операции, не связанные с использованием радиоактивности, например, приготовление реагентов и растворов, маркировка химической посуды и т.д. При планировании сложных операций предварительно рекомендуется выполнить «холостой» опыт, т.е. без использования радиоактивности (*защита временем*).

Организация работ с открытыми источниками излучения должна быть направлена на минимизацию радиоактивных отходов, образующихся при технологических процессах (операциях). Работу с летучими радиоактивными соединениями следует проводить в вытяжных шкафах со специальными фильтрами.

В лаборатории осуществляется личный и общий дозиметрический контроль, для чего во всех помещениях, где это нужно, устанавливаются стационарные и переносные дозиметрические приборы. Для проведения общего дозиметрического контроля в лаборатории специально выделяется ответственное лицо.

Во время работы в радиологической лаборатории следует использовать *средства индивидуальной защиты*. Их основное назначение заключается в том, чтобы защитить работающего от попадания радиоактивных веществ внутрь организма. Кроме того, средства индивидуальной защиты обеспечивают иногда полную, а чаще всего частичную защиту от внешнего облучения. К средствам

индивидуальной защиты относятся спецодежда (халат, шапочка, нарукавники, фартук, перчатки, комбинезон из пластика, щиток для защиты глаз и др.), спецобувь (резиновые чуни, бахилы или сапоги из специальной резины), средства защиты органов дыхания (респиратор типа «лепесток», РУ-60, РПГ-67 и пр.) изолирующие костюмы, дополнительные защитные приспособления.

Работающие с открытыми источниками ионизирующих излучений должны обращать особое внимание на выполнение *правил личной гигиены*: исключить забор радиоактивных веществ в пипетку с помощью рта (для этих целей использовать специальные приспособления), тщательно проводить очистку (деактивацию) кожных покровов после окончания работы, проходить дозиметрический контроль загрязнения спецодежды и кожных покровов. Все эти меры исключают возможность проникновения радиоактивных веществ внутрь организма.

## *Занятие 2*

### **Основные понятия и термины**

#### *Цель работы:*

Познакомиться с основными понятиями и терминами сельскохозяйственной радиологии.

#### *Методические указания*

**Активность (нуклеотида)** – скорость, с которой происходит распад нуклеотида; в Международной системе единицей активности является беккерель (Бк); при активности в 1 Бк в данном количестве радионуклида происходит 1 распад в секунду; внесистемная единица активности – кюри (Ки).

**Аберрации (хроматидные и хромосомные)** – изменение расположения генетического материала, его частичная утеря или приобретение нового, а также увеличение числа его копий.

**Альфа ( $\alpha$ )-частицы** – частицы, состоящие из двух протонов и двух нейтронов, вылетающие из ядра при его радиоактивном распаде; обладают энергией до 8,8 МэВ и пробегом в воде в несколько десятков мкм;  $\alpha$ -частицами называют и ядра гелия, также состоящие из двух протонов и двух нейтронов, которым на ускорителе тяжелых частиц может быть придана энергия в сотни МэВ.

**Беккерель** – единица радиоактивности в СИ, соответствующая 1 распаду в секунду – эпоним в честь профессора физики Парижского музея естественной истории Анри Беккереля, открывшего явление естественной радиоактивности солей урана.

**Бета-излучение** - электронное (позитронное) ионизирующее излучение с непрерывным энергетическим спектром, испускаемое при ядерных превращениях. Характеризуется граничной энергией спектра.

**Бэр** – биологический эквивалент рентгена (рада) – доза излучения, по

биологической эффективности равная действию рентгеновского или гамма-излучения в расчете на 1 Р экспозиционной дозы.

**Внешнее облучение** - облучение тела от находящихся вне его источников ионизирующего излучения.

**Внутреннее облучение** - облучение тела от находящихся внутри его источников ионизирующего излучения.

**Гамма ( $\gamma$ )-излучение** – волновое (фотонное) излучение высокой энергии, возникающее при радиоактивном распаде или аннигиляции электрона и позитрона.

**Грей** – единица поглощенной дозы в Международной системе единиц (в СИ, системе интернациональной), равная 1 Дж/кг массы; в литературе встречается написание грэй (Гр). Единица поглощенной дозы грэй – эпоним в честь лауреата премии имени Рентгена Луи Гарольда Грэя.

**Группа радиационной опасности радионуклида** - характеристика радионуклида, как потенциального источника внутреннего облучения. В порядке убывания радиационной опасности, выделены четыре группы с индексами А, Б, В, Г.

Токсичность радионуклидов характеризуется совокупностью показателей, в которую входят энергия излучения, период полураспада радионуклидов, особенности отложения в организме, вид излучения и другие.

Таблица 1 - Классификация радионуклидов по степени радиационной опасности ОСП (72/87)

Группа	Степень радиотоксичности	Минимально значимая активность, мкКи	Радионуклиды
А	Особо высокая	0,1	$^{210}\text{Po}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{241}\text{Am}$
Б	Высокая	1	$^{90}\text{Sr}$ , $^{131}\text{Y}$ , $^{106}\text{Ru}$ , $^{144}\text{Ce}$
В	Средняя	10	$^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$
Г	Малая	100	$^3\text{H}$ , $^{14}\text{C}$ , $^{106}\text{Rh}$

**Дезактивация поверхности** - удаление радиоактивного загрязнения с поверхности физико-химическим или механическим способами с целью предупреждения разноса радиоактивного загрязнения и действия его как потенциального источника внешнего и внутреннего облучения.

**Доза поглощенная** – количество излучения, поглощенное облученным объектом, в расчете на единицу массы. Единицей поглощенной дозы в Международной системе является грэй (Гр), который соответствует поглощению 1 Дж/кг.

**Доза эквивалентная** – доза излучения, поглощенная в органе или ткани и умноженная на взвешивающий коэффициент для данного вида излучения, характеризующий его эффективность в индуцировании биологического эффекта; единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

**Доза экспозиционная** – доза излучения, измеренная в воздухе, единицей экспозиционной дозы является в системе СИ кулон на килограмм (Кл/кг), в технической системе – рентген (Р), эпоним в честь немецкого исследователя Вильгельма Конрада Рентгена.

**Доза эффективная** – сумма произведений эквивалентной дозы в органах и

тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты для этих тканей, учитывающие разную чувствительность тканей в отношении канцерогенного эффекта радиации; единицей эффективной дозы является зиверт (Зв).

**Естественный фон излучения** - эквивалентная доза ионизирующего излучения, создаваемая космическим излучением и излучением естественно распределенных природных радионуклидов в поверхностных слоях Земли, приземной атмосфере, продуктах питания, воде и организме человека.

**Ионизирующее излучение** – излучение, энергия которого достаточна для разрыва межатомных связей путем удаления электрона с орбиты (ионизации).

**Канцерогенное действие** – способность агента индуцировать образование злокачественных новообразований (от лат. Cancer – **рак, краб**).

**Категория А** облучаемых лиц, или персонал (профессиональные работники) - лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений.

**Категория Б** облучаемых лиц, или ограниченная часть населения - лица, которые непосредственно не работают с источниками ионизирующего излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию ионизирующего излучения.

**Категория В** облучаемых лиц или население - население страны, республики, края или области.

**Кислородный эффект** – увеличение степени радиационного поражения объекта по мере возрастания его концентрации в окружающей клетки среде от нулевых значений  $pO_2$  (аноксии) до 20 мм. рт. ст.

**Критические органы** (системы) – жизненно важные органы или системы, выходящие из строя первыми в исследуемом диапазоне доз излучения, что обуславливает гибель организма в определенные сроки после облучения; примеры: система кроветворения, тонкий кишечник, ЦНС.

**Кюри** – внесистемная единица радиоактивности, равная  $3,7 \times 10^{10}$  Бк/с (распадов в секунду). Эта единица названа в честь исследователей, лауреатов Нобелевской премии по физике Марии Склодовской-Кюри и Пьера Кюри, открывших и выделивших радиоактивные элементы полоний и радий (1898 г.).

**LD<sub>50</sub>** – летальная доза 50 – доза излучения, вызывающая гибель 50% особей.

**Лучевая болезнь** – клинический синдром, развивающийся вследствие общего облучения.

**МАГАТЭ** – Международное агентство по атомной энергии, отвечает за ее безопасное использование; штаб-квартира расположена в Вене.

**Максимальная эквивалентная доза (МЭД)** - наибольшее значение суммарной эквивалентной дозы в критическом органе (теле) от всех источников внешнего и внутреннего облучения. Значение МЭД регламентируются основными дозовыми пределами.

**Минимальная значимая активность (МЗА)** - активность открытого источника ионизирующего излучения в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение органов Госсанэпиднадзора России на использование этого источника, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности.

**Мощность (поглощенной) дозы (интенсивность облучения)** – количество энергии излучения, поглощаемой массой вещества в единицу времени (1 с, 1 мин, 1 ч, 1 сут.).

**Мутации** – изменения ДНК; соматические мутации могут передаваться в клеточных поколениях в тканях самого облученного объекта, генетические – наследуются в потомстве облученных родителей.

**Облучение локальное (местное)** – облучение отдельных участков (сегментов) тела.

**Облучение многократное (фракционированное)** – облучение несколькими отдельными фракциями через различные промежутки времени.

**Облучение острое** – облучение, длительность которого не превышает нескольких часов, чаще всего составляя минуты.

**Облучение пролонгированное** – облучение, продолжающееся в течение многих дней, месяцев и лет.

**Облучение хроническое** – длительное при низкой мощности дозы.

**Облучения отдаленные последствия** – развивающиеся через несколько месяцев или лет после облучения – **нестохастические эффекты** – эпилепсия, катаракта, стерильность, сокращение продолжительности жизни; **стохастические эффекты** – злокачественные новообразования, генетические (наследуемые в потомстве) болезни.

**Период полураспада радионуклида (T<sub>1/2</sub>)** - характеристика радионуклида - время, в течение которого число ядер данного радионуклида в результате самопроизвольных ядерных превращений уменьшается в два раза (табл. 2).

Таблица 2 - Периоды полураспада радиоизотопов (T<sub>физ.</sub>)

Изотоп	Период полураспада (T <sub>физ.</sub> )	Изотоп	Период полураспада (T <sub>физ.</sub> )
Углерод-14 ( <sup>14</sup> C)	5730 лет	Цезий-134 ( <sup>134</sup> Cs)	2 года
Натрий-24 ( <sup>24</sup> Na)	14 часов	Цезий-137 ( <sup>137</sup> Cs)	30 лет
Фосфор-32 ( <sup>32</sup> P)	14,3 суток	Барий-140 ( <sup>140</sup> Ba)	13 суток
Сера-35 ( <sup>35</sup> S)	87,4 суток	Церий-143 ( <sup>143</sup> Ce)	33,4 часа
Калий-40 ( <sup>40</sup> K)	1,42 × 10 <sup>9</sup> лет	Радий-226 ( <sup>226</sup> Ra)	1600 лет
Калий-42 ( <sup>42</sup> K)	12,3 часа	Бром-82 ( <sup>82</sup> Br)	36 часов
Кальций-45 ( <sup>45</sup> Ca)	163 суток	Золото-198 ( <sup>198</sup> Au)	64 часа
Железо-59 ( <sup>59</sup> Fe)	44,5 суток	Сурьма-124 ( <sup>124</sup> Sr)	60 суток
Кобальт-60 ( <sup>60</sup> Co)	5,3 года	Теллур-127 ( <sup>127</sup> Te)	9,3 часа
Стронций-89 ( <sup>89</sup> Sr)	50,5 суток	Полоний-210 ( <sup>210</sup> Po)	139 суток
Стронций-90 ( <sup>90</sup> Sr)	28,6 года	Уран-235 ( <sup>235</sup> U)	7 × 10 <sup>8</sup> лет
Рутений-106 ( <sup>106</sup> Ru)	1 год	Иттрий-90 ( <sup>90</sup> Y)	2,6 суток
Йод-125 ( <sup>125</sup> I)	60 суток	Тритий-3 ( <sup>3</sup> H)	12,35 года
Йод-131 ( <sup>131</sup> I)	8,06 суток	Плутоний-238 ( <sup>238</sup> Pu)	87,74 года

**Пороговая доза** – доза, ниже которой не отмечены проявления данного эффекта облучения.

**Предел годового поступления радионуклида (ПГП)** - допустимый уровень поступления радионуклида в организм для категории Б облучаемых лиц, ПГП - такое поступление радионуклида в организм в течение календарного года, которое за 70 последующих лет создает в критическом органе максимальную эквивалентную дозу, равную пределу дозы (ПД).

**Предел дозы (ПД)** - основной дозовый предел для категории Б облучаемых лиц. ПД - наибольшее среднее значение индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год у критической группы лиц, при котором равномерное облучение в течение 70 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

**Предельно допустимая доза (ПДД)** - основной дозовый предел для категории А облучаемых лиц. ПДД - наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год, при котором равномерное облучение в течение 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

**Радикалы свободные** – короткоживущие продукты радиолиты воды и органических молекул, содержащие неспаренные электроны, а потому высоко реактивные и легко реагирующие с растворенным субстратом, что приводит к его повреждению.

**Радиоактивность** – способность всех нестабильных элементов к распаду с выделением энергии в форме фотонов ( $\gamma$ -излучение) или частиц (электроны,  $\alpha$ -частицы и др.); единицей радиоактивности служит беккерель (Бк) – одно ядерное превращение в 1 с.

**Радиоактивные изотопы (радионуклиды)** – одна из форм существования элементов, различающихся по атомному весу и содержащих нестабильное ядро, испускающее ионизирующее излучение.

**Радиобиологический парадокс** – несоответствие между ничтожным количеством поглощенной энергии и крайней степенью реакции биологического объекта, вплоть до летального эффекта.

**Радиорезистентность (радиостойчивость)** – низкая чувствительность к поражающему действию ионизирующих излучений.

**Радиочувствительность** – относительная восприимчивость клеток, тканей, органов или организмов к воздействию ионизирующего излучения, мерой которой служит доза излучения, вызывающая определенный уровень гибели облучаемых объектов: для организмов – доза, вызывающая гибель 50% особей за определенный срок наблюдения.

**Радон ( $^{222}\text{Rn}$ )** – тяжелый радиоактивный инертный газ (период полураспада 3,8 дня); возникает вследствие последовательного деления урана; выделяется из почвы, особенно из скальных пород, а также из строительных материа-

лов, изготовленных из таких пород; опасность представляют радиоактивные продукты распада радона, не являющиеся газами и потому захватываемые пылевыми частицами, оседающими в верхних дыхательных путях.

**Радиационная безопасность** – система мероприятий, направленных на минимизацию последствий облучения, регламентацию радиационного воздействия в виде международных рекомендаций и национальных санитарных правил и норм радиационной безопасности для разных категорий людей и профессионалов – работников атомной промышленности и населения.

**Радиация (ионизирующая)** – электромагнитное или корпускулярное излучение, способное при взаимодействии с веществом прямо или опосредованно вызывать в нем образование ионов; примеры: рентгеновское излучение, фотоны, заряженные атомные частицы, нейтроны.

**Репарация ДНК** – биохимические процессы, ведущие к восстановлению исходного состояния молекулы ДНК после разрыва в ней межатомных связей, вызванных воздействием ионизирующего излучения.

**Стохастические эффекты** – вероятность развития злокачественных новообразований в отдаленные (годы, десятки лет) сроки после облучения животного или человека и /или наследственных заболеваний в потомстве.

**Тератогенные эффекты** – пороки развития и уродства, развившиеся вследствие облучения эмбриона или плода.

### *Занятие 3*

#### **Единицы доз излучения и радиоактивности.**

#### **Решение задач по переходу от внесистемных единиц к единицам системы СИ и наоборот**

##### *Цель работы:*

Изучить связь между единицами СИ и внесистемными единицами активности и доз излучения.

Научиться решать задачи по переходу от единиц СИ к внесистемным и наоборот.

##### *Методические указания*

Для решения задач необходимо ознакомиться с системными и внесистемными единицами и связью между ними, приведенной в таблице 3, множителями и приставками для образования десятичных кратных и десятых единиц, приведенных в таблице 4.

Таблица 3 - Основные физические величины, используемые в радиационной биологии, и их единицы

Физическая величина	Единица, ее наименование, обозначение (межд., русское)		Соотношение между единицами	
	внесистемная	системы СИ	внесистемная и СИ	СИ и внесистемная
Активность нуклида в радиоактивном источнике	кюри (Ci, Ки)	беккерель (Bq, Бк)	1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк	1 Бк = $2,7 \times 10^{-11}$ Ки
Экспозиционная доза излучения	рентген (R, Р)	кулон на кг (C/kg, Кл/кг)	1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг	1 Кл/кг = 3876 Р
Мощность экспозиционной дозы излучения	рентген в секунду (R/s, Р/с)	ампер на кг (A/kg, А/кг)	1 Р/с = $2,58 \times 10^{-4}$ А/кг	1 А/кг = 3876 Р/с
Поглощенная доза излучения	рад (rad, рад)	грей (Gy, Гр)	1 рад = 0,01 Гр	1 Гр = 100 рад
Мощность поглощенной дозы излучения	рад в секунду (rad/s, рад/с)	грей в секунду (Gy/s, Гр/с)	1 рад/с = 0,01 Гр/с	1 Гр/с = 100 рад/с
Интегральная доза излучения	рад-грамм (rad × g рад × г)	джоуль (J, Дж)	1 рад × г = $10^{-5}$ Дж	1 Дж = $10^5$ рад × г
Эквивалентная доза излучения	бэр (rem, бэр)	зиверт (Sv, Зв)	1 бэр = 0,01 Зв	1 Зв = 100 бэр
Мощность эквивалентной дозы излучения	бэр в секунду (rem/s, бэр/с)	зиверт в секунду (Sv/s, Зв/с)	1 бэр/с = 0,01 Зв/с	1 Зв/с = 100 бэр/с

Скорость ядерных превращений характеризуется активностью – числом ядерных превращений в единицу времени. В системе СИ за единицу активности радионуклидов принимается единица беккерель (Бк), равная одному ядерному превращению в 1 секунду:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с}$$

Внесистемной единицей активности радионуклидов является единица Кюри (Ки) – это такое количество радиоактивных веществ, в котором число радиоактивных превращений в 1 секунду равно  $3,7 \times 10^{10}$ . Эта величина соответствует радиоактивности 1 г радия.

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ расп./с} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк.}$$

Единицами удельной активности или концентрации, т.е. активности на единицу массы или объема являются следующие величины: Ки/мл, Ки/г, Бк/г, Бк/мл и др.

Таблица 4 - Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка		Множитель	Приставка	
	наименование	обозначение (межд. и рус.)		наименование	обозначение (межд. и рус.)
$10^{18}$	экса	Е/Э	$10^{-1}$	деци	d/д
$10^{15}$	пета	Р/П	$10^{-2}$	санتي	с/с
$10^{12}$	тера	Т/Т	$10^{-3}$	милли	м/м
$10^9$	гига	Г/Г	$10^{-6}$	микро	μ/мк
$10^6$	мега	М/М	$10^{-9}$	нано	н/н
$10^3$	кило	к/г	$10^{-12}$	пико	р/п
$10^2$	гекто	h/г	$10^{-15}$	фемто	f/ф
$10^1$	дека	da/да	$10^{-18}$	атто	a/a

Единицей гамма-активности радиоактивных источников является эквивалент 1 мг радия. *Миллиграмм эквивалент радия* (мг-экв. радия) равен активности любого радиоактивного препарата, гамма-излучение которого создает при одинаковых условиях такую же мощность экспозиционной дозы, как гамма-излучение 1 мг радия Государственного эталона при платиновом фильтре 0,5 см на расстоянии 1 см от источника. Точечный источник в 1 мг (1 мКи) радия создает мощность экспозиционной дозы 8,4 Р/ч. Эта величина называется ионизационной гамма-постоянной радия и обозначается символом  $K_\gamma$ .

Например, гамма-постоянная Со-60 составляет 13,5 Р/ч – это значит, что активность Со-60 в 1,6 раза выше, чем 1 мг (1 мКи) радия.

Гамма-эквивалент любого изотопа М связан с его активностью А (мКи) через ионизационную гамма-постоянную радия соотношениями:

$$M = A \times K_\gamma / 8,4;$$

$$A = M \times 8,4 / K_\gamma.$$

Эти соотношения позволяют сделать переход от активности радиоактивного вещества выраженной в мг-экв. радия, к активности, выраженной в мКи, и наоборот.

### Задачи

1. Активность источника 20 мКи. Определить его активность в Бк.
2. Активность источника 5 кКи. Определить его активность в Бк.
3. Активность источника 10 ГБк. Определить его активность в Ки.
4. Активность источника 25 мБк. Определить его активность в Ки.
5. Экспозиционная доза 15 мкР. Определите ее в Кл/кг.
6. Экспозиционная доза 50 мкР. Определите ее в Кл/кг.

7. Экспозиционная доза 30 нКл/кг. Определите ее в Р.
8. Экспозиционная доза 20 кКл/кг. Определите ее в Р.
9. Поглощенная доза 100 нрад. Определите ее в Гр.
10. Поглощенная доза 100 мрад. Определите ее в Гр.
11. Поглощенная доза 55 нГр. Определите ее в рад.
12. Поглощенная доза 7 кГр. Определите ее в рад.
13. Эквивалентная доза 75 мбэр. Определите ее в Зв.
14. Эквивалентная доза 40 Гбэр. Определите ее в Зв.
15. Эквивалентная доза 15 пЗв. Определите ее в бэр.
16. Эквивалентная доза 22 МЗв. Определите ее в бэр.
17. Мощность экспозиционной дозы 20 мкР/с. Определите ее в единицах системы СИ.
18. Мощность экспозиционной дозы 100 кР/с. Определите ее в единицах системы СИ.
19. Мощность поглощенной дозы 50 мрад/с. Определите ее в единицах системы СИ.
20. Мощность поглощенной дозы 30 крад/с. Определите ее в единицах системы СИ.
21. Мощность поглощенной дозы 25 мкГр/с. Определите ее во внесистемных единицах.
22. Мощность поглощенной дозы 15 мГр/с. Определите ее во внесистемных единицах.
23. Мощность эквивалентной дозы 50 мкбэр/с. Определите ее в единицах системы СИ.
24. Мощность эквивалентной дозы 45 мбэр/с. Определите ее в единицах системы СИ.
25. Мощность эквивалентной дозы 30 нЗв/с. Определите ее во внесистемных единицах.
26. Мощность эквивалентной дозы 25 кЗв/с. Определите ее во внесистемных единицах.

#### ***Занятие 4***

### **Приборы дозиметрического и радиометрического контроля**

*Цель работы:*

Изучить принципы работы радиометрической аппаратуры.

Ознакомиться с приборами дозиметрического и радиометрического контроля, имеющимися в лаборатории.

Ознакомиться с устройством и принципом их работы.

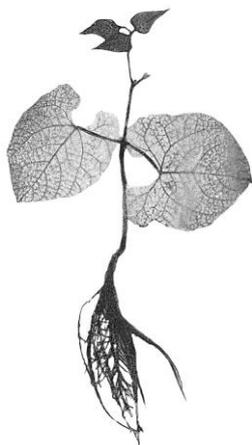
### Принципы работы радиометрической аппаратуры

Любой радиометрический прибор имеет в качестве основной части детектор (счетчик), подающий в усилительно-измерительную схему сигналы о поступлении ионизирующих частиц или гамма-квантов. Существуют химические, ионизационные, полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы.

#### Химические детекторы радиоактивности

В основу этих методов положена способность излучений инициировать химические реакции атомов и молекул при их возбуждении и ионизации. Химическими детекторами могут быть газообразные, твердые и жидкие вещества.

Например, в газовом детекторе используется закись азота ( $N_2O$ ). Под влиянием ионизирующих излучений закись азота образует  $N_2$ ,  $NO$ ,  $O_2$ . Количество этих образовавшихся продуктов пропорционально активности радионуклида. Химические методы регистрации излучений в настоящее время применяются редко из-за небольшой чувствительности. Исключение составляет фотографический метод.



Фотографический метод (радиоавтография) является разновидностью химических методов регистрации излучений. Исторически это первый метод регистрации излучений, с помощью которого была открыта радиоактивность. Так в светочувствительных материалах (фотографическая эмульсия) иони-

зирующее излучение, так же как видимый свет, создает скрытое изображение, например радиоавтограф растения фасоли (рис. 1).

Для получения такого изображения (радиоавтографа) изучаемый образец размещают непосредственно на фотопластинке или фотопленке и экспонируют определенное время. Частицы или кванты высокой энергии взаимодействуют с галоидным серебром (например,  $AgBr$ ) фотоэмульсии, восстанавливая его до металлического серебра. Затем пластинку проявляют и по степени потемнения судят о наличии и локализации радионуклидов в образце.

#### Ионизационные детекторы

Самым простым устройством этого типа является *ионизационная камера*. Она представляет собой воздушный конденсатор, состоящий из двух металлических пластин, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, к которым приложена разность потенциалов (рис. 2). В сеть включен гальванометр (вольтметр). В отсутствие радиации тока в цепи не будет, поскольку воздух является изолятором. Радиоактивные частицы, попав внутрь конденсатора, ионизируют воздух, превращая его в проводник электричества. Сила тока измеряется гальванометром. Между силой тока ( $J$ ) и количеством образовавшихся пар ионов ( $N$ ) существует прямая зависимость:  $J = N \times e$ , где  $e$  – заряд иона.

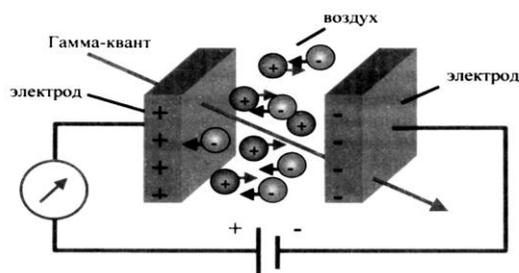


Рисунок 2. Схема работы ионизационной камеры

По силе тока определяется интенсивность излучения. В зависимости от типа излучения ионизационные камеры имеют те или иные особенности.

*Счетчик Гейгера-Мюллера* представляет собой герметичный баллон (трубку), заполненный газовой смесью из аргона и спирта с добавкой галоидов. По оси трубки натянута нить, служащая в качестве анода. Катодом является внутреннее металлическое покрытие баллона. На электроды подается высокое напряжение постоянного тока (400-1000 В). При попадании внутрь баллона бета-частиц или электронов, выбитых из стенок счетчика гамма-лучами, происходит ионизация газа. В результате между электродами возникает лавина ионов и происходит кратковременный электрический разряд. В цепи счетчика регистрируется импульс напряжения (рис. 3). Чувствительность счетчиков зависит в первую очередь от материала катода, из которого гамма-лучи выбивают электроны.

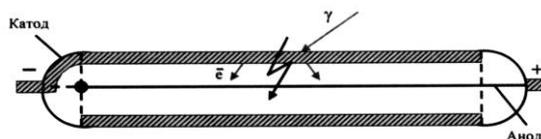


Рисунок 3. Счетчик Гейгера-Мюллера

Счетчик Гейгера-Мюллера – весьма чувствительное устройство, позволяющее регистрировать каждую заряженную частицу или гамма-квант.

### **Полупроводниковые детекторы**

Они сходны с ионизационными, но роль ионизационной камеры в этом случае выполняют твердые полупроводники.

Полупроводники – это кристаллические вещества, электропроводность которых при обычной температуре имеет промежуточное значение между электропроводностью металлов ( $10^6$ - $10^4$  Ом<sup>-1</sup>/см<sup>-1</sup>) и диэлектриков ( $10^{-10}$ - $10^{-12}$  Ом<sup>-1</sup>/см<sup>-1</sup>). Под действием радиоактивных частиц в полупроводниковых детекторах происходит переход электронов из валентной зоны в зону проводимости. В результате образуются свободные носители зарядов: электроны (п-проводимость) и дырки (р-проводимость). Под действием внешнего электрического поля, приложенного к полупроводнику, электроны и дырки притягиваются к соответствующим электродам, обуславливая накопление заряда. Последний дает импульс напряжения, который подается в усилительно-измерительную схему прибора.

В качестве полупроводника в радиометрических приборах чаще всего применяют монокристаллы германия. С его помощью регистрируют высоко-

энергетические гамма- и бета-лучи. Для регистрации альфа-частиц, низкоэнергетических гамма-квантов и рентгеновских лучей используют кремниевые детекторы (монокристаллы кремния).

В противоположность металлам, у которых электропроводность уменьшается с ростом температуры, у полупроводников с увеличением этого параметра электропроводность резко возрастает. Поэтому многие из полупроводниковых материалов требуют сильного охлаждения при работе, что усложняет устройство приборов, их эксплуатацию и удорожает их стоимость. К таким материалам относятся теллурид кадмия, арсенид галлия и йодид ртути, которые уже используются в самых современных радиометрах и спектрометрах. Поскольку плотность полупроводниковых материалов намного выше плотности газов, то энергия поглощаемых частиц в них используется полнее, чем в ионизационных камерах. Поэтому полупроводниковые детекторы обладают очень высокой разрешающей способностью.

### Сцинтилляционные детекторы

Сущность работы сцинтилляционного счетчика заключается в регистрации вспышек *люминесценции*, возникающих в некоторых кристаллах, органических жидкостях или пластмассах при попадании в них заряженных частиц или гамма-квантов. Вспышки в кристалле фиксируются *фотокатодом* и в цепи возникает импульс электрического тока.

Однако сами по себе вспышки могут быть очень слабыми. Для их фиксации применяются *фотоэлектронные умножители* (ФЭУ). Они представляют собой вакуумные электронные приборы с системой умножения электронов, выбитых световой вспышкой с поверхности фотокатода (рис. 4). Умножительная система состоит из нескольких последовательно расположенных *диодов* (эмиттеров), покрытых специальным слоем. Электроны, бомбардирующие диоды, выбивают из них вторичные электроны, количество которых минимум в 2 раза превышает число первичных электронов. Таким образом, каждый последующий диод увеличивает количество электронов. С последнего диода в усиленно-измерительную схему прибора поступает лавина электронов. Благодаря ФЭУ сцинтилляционные счетчики обладают гораздо большей чувствительностью по сравнению с газонаполненными счетчиками.

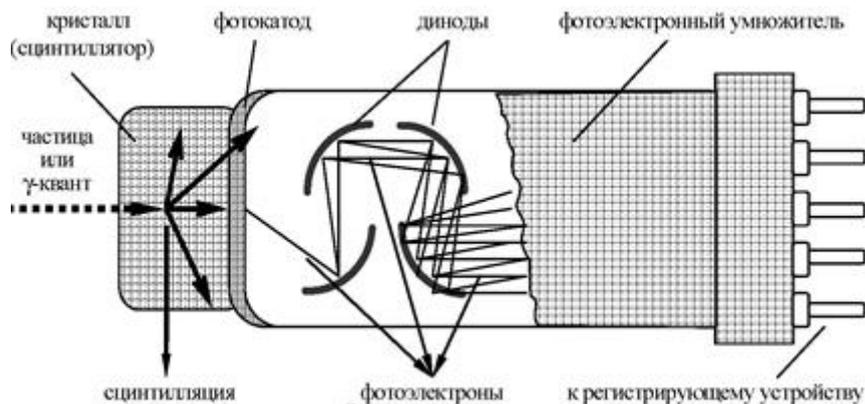


Рисунок 4. Схема фотоэлектронного умножителя

Для регистрации альфа-частиц в качестве сцинтилляторов (люминофоров) применяют тонкий слой сернистого цинка, а регистрация бета-частиц осуществляется с помощью кристаллов антрацена, стиблена, а также сцинтиллирующих пластмасс. При регистрации гамма-квантов в отечественных приборах успешно используются монокристаллы йодистого натрия и йодистого цезия, активизированные таллием.

Вся аппаратура для проведения измерения ионизирующего излучения подразделяется на 2 класса:

- дозиметрические приборы (дозиметры), которые предназначены для измерения дозы (или мощности дозы) излучения. Эти приборы применяются для измерения общей дозы облучения биологического объекта, а также для контроля загрязнения рабочих мест и поверхностей радиоактивными веществами.

- радиометрические приборы (радиометры), которые предназначены для измерения активности источников излучения в объектах контроля.

По конструктивным особенностям радиометры дозиметры подразделяются на:

**Карманные** (для индивидуального радиометрического и дозиметрического контроля):

**Переносные** (для группового дозиметрического и радиационно-технологического контроля, определения радиоактивности и ее удельной величины в объектах окружающей среды - гамма-картирование местности, определение загрязненности зданий и сооружений, сельскохозяйственных машин и т.д.).

**Стационарные установки** (для непрерывного дозиметрического и радиационно-технологического контроля в радиационно-опасных местах, определение удельной и объемной активности проб почвы, воды, растительности, кормов, продуктов питания и т.д.).

Радиометрические и дозиметрические приборы состоят из детектора с источником электрического питания, устройства для преобразования информации от детектора и регистрирующего устройства (блока регистрации). Эти приборы характеризуются определенными техническими данными (параметрами): чувствительностью разрешающим временем, воспроизводимостью результатов измерений, температурной и механической устойчивостью.

Чувствительность - величина нижнего предела излучения, который еще устойчиво воспринимается датчиком и может регистрироваться прибором.

Разрешающее время - наименьшее время, за которое два импульса, следующие друг за другом, регистрируются отдельно.

Воспроизводимость результатов измерений - это наименьшая разность двух последовательных измерений одного и того же препарата (образца). Она называется точностью прибора.

Температурная устойчивость свидетельствует об устойчивости показаний прибора при разных температурах.

Механическая устойчивость прибора характеризует его способность противостоять различным механическим воздействиям без изменения точности показателей.

На радиационно-опасных объектах и на загрязненных территориях организуют индивидуальный контроль персонала и населения, оказавшегося в радиационно-опасной зоне. Индивидуальный контроль включает регистрацию ежедневных (или за определенный период дозовых нагрузок и уровней загрязнения тела, рук и спецодежды). Результаты индивидуального контроля позволяют определить режим работы или проживания на загрязненной территории.

Для осуществления индивидуального контроля используются индивидуальные дозиметры (КИД -1.2; ИФК - 2. 3), позволяющие определить дозы, которые могут быть получены работающими во время пребывания в зоне действия излучения.

Для регистрации рентгеновского и гамма- излучения используются также приборы ДКС - 04, СРП - 68-01. Лабораторный контроль по определению удельной и объемной активности определяется с помощью радиометров «Бета», «РУБ-01П6», УСК «Гамма Плюс».

### *Занятие 5*

#### **Измерение уровня гамма-радиации с помощью радиометров СРП-68-01, МКС и ДКС**

##### *Цель работы:*

Ознакомиться с органами управления и порядком работы на приборах.

Произвести измерение радиационной обстановки на местности.

Рассчитать эквивалентную дозу облучения за год и сравнить с пределами дозы (ПД).

##### *Методические указания*

#### **Дозиметрическое обследование территории**

Определение мощности дозы гамма-излучения и выявление локальных радиационных аномалий (дозиметрическое обследование территории) проводится в два этапа.

**На первом этапе** проводится гамма-съемка территории с целью выявления и локализации возможных радиационных аномалий и определения объема дозиметрического контроля при измерениях мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭДГИ).

Датчик прибора размещают на расстоянии 10-30 см от поверхности почвы и не ближе 50-100 см от оператора. При этом блок детектирования радиометра должен совершать зигзагообразные движения перпендикулярно направлению прохождения выбранного маршрута, а скорость передвижения не должна превышать 2 км/ч. Территория должна быть подвергнута по возможности сплошному обследованию.

Для проведения первого этапа дозиметрического обследования следует применять поисковые радиометры или высокочувствительные дозиметры гамма-излучения, имеющие поисковый режим работы со звуковой индикацией. Эти приборы должны обеспечивать регистрацию потока гамма-квантов в диа-

пазоне энергий 0,05-3,00 МэВ при интенсивности от 10 с<sup>-1</sup> (имп/с) и выше. На практике по радиоэкологии используются различные поисковые приборы, например, радиометр-дозиметр СРП-68-01.

**На втором этапе** проводятся измерения мощности дозы гамма-излучения в контрольных точках, которые по возможности должны располагаться равномерно по территории участка.

Общее число контрольных точек должно быть не менее 10 на 1 га, но не менее 5 точек на земельном участке меньшей площади. При величине пространственной неоднородности загрязнения почв равной 25-30%, что характерно для чернобыльских выпадений, и относительной погрешности измерения мощности дозы равной 15-20%, минимально необходимое количество контрольных точек составляет 15-20.

Измерение МЭДГИ на контролируемом участке проводят с помощью дозиметров.

Измерения мощности дозы гамма-излучения в контрольных точках проводят на высоте 1 м от поверхности земли. Число повторных измерений или время измерения в каждой контрольной точке должно выбираться в соответствии с указаниями методик выполнения измерений или руководством по эксплуатации дозиметра. Обычно измерения мощности дозы гамма-излучений выполняется в 10-кратной повторности в каждой точке. Результаты измерения МЭДГИ заносятся в протокол (табл. 5).

За результат измерений мощности дозы гамма-излучения в каждой контрольной точке принимается среднее арифметическое по данным всех выполненных в ней измерений:

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{H}_i$$

где: n – количество измерений;  $\bar{H}_i$  – показания дозиметра при i-ом измерении.

Если на участке не было выявлено зон с повышенными показаниями поискового радиометра, то среднее значение мощности дозы гамма-излучения для территории определяется по формуле:

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{H}_i$$

где: N - количество контрольных точек,  $\bar{H}_i$  - среднее значение мощности дозы гамма-излучения в i-ой точке.

Таблица 5 - Форма протокола измерения МЭДГИ

№ точки	Н, мкЗв/ч										Н <sub>і</sub> , мкЗв/ч
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											
2											
3											
4											
5											
$\bar{H}$											

По возвращению в лабораторию, полученный цифровой материал обрабатывается. Находится среднее значение экспозиционной дозы, затем рассчитывается величина эквивалентной дозы (бэр/год) и сравнивается с ПД.

### Расчет эквивалентной дозы (бэр/год) и сравнение ее с ПД

Для расчета эквивалентной дозы (бэр/год) необходимо использовать зависимость, устанавливающую связь между величиной экспозиционной, поглощенной и эквивалентной дозы:

$$X \text{ (Р/год)} \_ Д \text{ (рад/год)} \_ Н \text{ (бэр/год)}$$

**Пример.** Мощность экспозиционной дозы 50 мкР/ч. Найти эквивалентную дозу.

Решение:

$$50 \times 10^{-6} \times 365 \times 24 = 0,44 \text{ Р/год}$$

где -365 - количество дней в году.

24 - количество часов в сутках.

Используя установленную связь **между экспозиционной и эквивалентной** дозой, найдем эквивалентную дозу

$$0,44 \text{ Р/год} - 0,44 \text{ бэр/год}$$

### *Инструкция для работы с радиометром-дозиметром СРП-68-01*

Прибор СРП-68-01 позволяет проводить измерения потока гамма - квантов в диапазоне 0-10000 С<sup>-1</sup> (имп/с) и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в диапазоне 0-3000 мкР/ч. Он имеет 5 диапазонов "С<sup>-1</sup>" и "мкР/ч".

Диапазоны импульса счетов гамма-квантов (имп/с); 0-100; 0-200; 0-500; 0-1000; 0-10000.

Диапазоны мощности экспозиционной дозы (мкР/ч): 0-30; 0-100; 0-300; 0-1000; 0-3000.



Перед началом работы осмотреть измерительный пункт и блок детектирования на отсутствие механических повреждений.

Ознакомиться с расположением и назначением органов управления и регулировки.

Установить: переключатель режима работы в режиме "Бат". Стрелка измерительного прибора должна показывать напряжение батарей питания. При этом она отклоняется за середину шкалы;

переключатель режима работы в положение "2,5" или "5". При этом стрелка измерительного прибора показывает мощность экспозиционной дозы в месте расположения блока детектирования;

переключатель режима работы в положение контроль. В этом положении осуществляется поверку радиометра по контрольному, радиоактивному источнику.

Проверить работу прибора по контрольному, радиоактивному источнику в следующей последовательности:

снять крышку с контрольного источника и резиновый колпачок с блока детектирования;

с помощью держателя присоединить блок детектирования к контрольному источнику, находящемуся в корпусе пульта прибора;

установить необходимый диапазон с помощью переключателя диапазонов измерений и записать показания прибора, которые должны соответствовать значению, указанному в паспорте на прибор ( $600 \pm 60$  мкР/ч);

отсоединить блок детектирования от контрольного источника и проконтролировать уровень фона в месте проведения измерений;

присоединить вновь блок детектирования к контрольному источнику и снять показания, которые не должны измениться более, чем на 10 % по сравнению с первым измерением.

Прибор готов к проведению измерений, которые проводят в следующей последовательности:

поместить блок детектирования в контрольную зону;

установить необходимый диапазон (мкР/ч) переключателем диапазонов измерений таким образом, чтобы показания прибора были не менее 30% полной шкалы;

записать показания прибора (мкР/ч).

Время установки рабочего режима не более 1 минуты с момента включения прибора.

#### *Инструкция по работе с дозиметром-радиометром МКС-АТ1125*

Прибор сразу после включения переходит в режим измерения мощности дозы без ограничения времени измерения. При этом на дисплее отображается текущее значение мощности дозы (в мкЗв/час) и соответствующее ему значение



статистической погрешности измерения (%). Новый цикл измерения можно запустить нажатием клавиши включения. При использовании дозиметра радиометра MKS-AT1125 следует выбрать необходимый уровень статистической погрешности измерения (например, 20%) и начинать новый цикл измерения по достижении прибором этого уровня. Выключение прибора осуществляется быстрым трехкратным нажатием клавиши включения.

### **Занятие 6**

#### **Работа на стационарном радиометре "Бета".**

#### **Определение объемной и удельной активности бета – излучающих нуклидов**

##### *Цель работы:*

1. Ознакомиться с устройством и показанием прибора, назначением органов управления и режимов работы.
2. Изучить порядок работы радиометра. Определить удельную и объемную активность в образцах. Рассчитать плотность загрязнения почвы (ПЗП). Определить радиоактивное загрязнение поверхности.

##### *Методические указания*

Назначение и устройство радиометра. Радиометр "Бета" предназначен для контроля уровней загрязнения бета - излучающими нуклидами объектов окружающей среды (вода, почва, растения) и продуктов питания, а также для контроля радиоактивного загрязнения поверхностей.

В качестве детектора используется газоразрядный счетчик Гейгера -



Мюллера, который способен преобразовывать лавину ионов, образованных в счетчике, в электрический импульс. Затем импульс с помощью электрической схемы преобразуется в цифровую информацию, отображающуюся на табло. Для уменьшения влияния внешнего гамма-фона, счетчик размещен в свинцовом домике.

##### *Назначение органов управления и режимов работы.*

Питание - переключатель, при помощи которого можно включить питание радиометра. При нахождении выключателя в положении "вкл.", на табло появляются цифры, что свидетельствует о нормальном напряжении.

Режим - кнопка, при помощи которой устанавливается необходимый режим работы радиометра. Всего 7 режимов. С 1 по 6 - режим связан с изменением времени счета импульсов. Седьмой режим предназначен для проверки работоспособности блока индикации.

Пуск - кнопка, которой осуществляется запуск радиометра и сброс ранее имеющейся информации на табло.

Звонок - переключатель, включающий звуковую сигнализацию по окончании времени измерения.

Проверка работоспособности блока индикации

С помощью кнопки "Режим" установить 7-й режим работы. На табло автоматически начинается подсчет импульсов. Смена на табло 0000 на 9999 свидетельствует о нормальной работе блока индикации.

*Определение объемной (ОА) и удельной (УА) активности в пробах*

Подготовить пробы к измерению. Для этого овощи, фрукты, пищевую зелень необходимо тщательно вымыть и измельчить. Пробы в кюветах размельчают таким образом, чтобы они не поднимались над кюветой. Это позволит избежать загрязнения детектора при размещении кюветы с пробой в свинцовом домике.

Кювета размещается в самом верхнем пазе перед счетчиком.

Произвести последовательное соединение блока детектирования с блоком индикации и блоком питания, который затем подсоединяется к электрической сети.

Поместить пустую кювету в свинцовый домик. Установить 3-й режим работы и провести 3 измерения скорости счета фона (Nф).

Таблица 6 - Чувствительность радиометра "Бета" при измерении ОА и УА проб

Вид проб	Радионуклидный состав пробы, %	P, л (кг)
Мясо и мясопродукты. молоко и молочные продукты, рыба, птица, мука, хлеб, корнеплоды, бобовые, соки, питьевая вода.	Цезий-134, 137 - 100	$1,2 \times 10^7$
Фрукты, ягоды, овощи, растительность, пищевая зелень, крупы, сухие лекарственные травы, сено, комбикорм, грибы, чай, зерно.	Цезий-134, 137 - 80. Остальные - 20	$1,9 \times 10^7$
Вода речная, озерная и т. д. с частицами ила и почвы.	Цезий-134, 137 - 19. Стронций-90, Иттрий-90 - 5, Церий-144, Празеодим-144 - 76	$4,3 \times 10^7$

Измерение пробы в 3-м режиме составляет 100 секунд. Вычислить среднее значение счета по формуле:

$$Nф = (Nф1 + Nф2 + Nф3)/3,$$

где Nф - среднее значение скорости счета фоновых импульсов (имп./с).

Поместить в домик пробу и провести 3 измерения скорости счета от пробы в 3-м режиме.

Вычислить среднее значение скорости счета от пробы по формуле:

$$N=(N1 +N2 + N3)/3,$$

где N - среднее значение скорости счета от пробы (имп./с).

Расчет объемной и удельной активности выполняется по формуле:

$$A= (N - Nф)/P,$$

где A - удельная активность, Бк/кг, (Ки/кг) или объемная активность, Бк/л (Ки/л).

N - среднее значение скорости счета от пробы (имп./с).

Nф - среднее значение скорости счета фоновых импульсов (имп./с).

P - чувствительность радиометра (табл. 6).

#### Форма протокола измерения

Образец	повторность			Среднее значение скорости счёта, имп./с	Удельная активность, Бк/кг
	1	2	3		
Фон					

#### Расчет плотности загрязнения почвы (ПЗП)

Для расчета плотности загрязнения почвы необходимо:

Произвести отбор проб почвы на выделенном участке в соответствии с общепринятой методикой.

-Определить удельную активность отобранных образцов (проб).

-Определить плотность загрязнения почвы по формуле:

$$ПЗП = A_y \times S \times h \times d,$$

где ПЗП - плотность загрязнения почвы, Ки/км<sup>2</sup>;

A<sub>y</sub> - удельная активность почвы, Ки/кг;

S - площадь поля, равная 1 км<sup>2</sup> или 10<sup>6</sup> м<sup>2</sup>;

h - толщина пахотного слоя, равна 0,2 м;

d - удельный вес в пахотном слое, приблизительно равный 1,25×10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>.

Подставив числовое значение, получим:

$$\text{ПЗП} = \text{Ау(Ки/кг)} \times 10^6 (\text{м}^2) \times 0,2 (\text{м}) \times 1,25 \times 10^3 (\text{кг/м}^3) = \text{Ау(Ки/кг)} \times 25 \times 10^7 (\text{кг/км}^2)$$

---

---

### *Занятие 7*

## **Определение удельной и объемной активности цезия-137 в воде, почве, сельхозпродукции.**

### **Работа на радиометрах РУБ - 01П6 и УСК «Гамма-Плюс».**

*Цель работы:*

1. Ознакомиться с устройством, назначением и органами управления радиометра.
2. Изучить порядок работы радиометра.
3. Рассчитать удельную и объемную активность в пробах.
4. Определить плотность загрязнения почвы цезием-137.
5. Рассчитать коэффициенты накопления и пропорциональности.

### *Методические указания*

#### **Назначение и область применения**

Методика предназначена для экспрессного радиометрического определения по гамма-излучению удельной (УА) или объемной (ОА) активности радионуклидов цезия в почве, воде, продуктах питания, продукции растениеводства и животноводства.

Методика применяется при измерении УА и ОА радионуклидов цезия-137 и цезия-134 в продукции с плотностью от 0,1 до 1,7 кг/дм<sup>3</sup>. Диапазон измерения при плотности продукции 1 кг/дм<sup>3</sup> составляет от 20 до 2·10<sup>5</sup> Бк/кг, Бк/л - при объеме 1 л и от 270 до 2,7·10<sup>6</sup> Бк/кг, Бк/л - при объеме 0,05л.

#### *Устройство и принцип работы радиометра РУБ-01П6*

Радиометр РУБ-01П6 включает в себя устройство измерительное УИ-38П2 и блок детектирования.

Блок детектирования БДКГ-03П предназначен для преобразования энергии излучения бета-частиц и (или) гамма-квантов в электрические импульсы. Он выполнен на основе сцинтилляционного блока БДЭГ4-43-02А с монокристаллом NaI(Tl) размером 63×63мм.

Под действием энергии заряженных частиц или гамма-квантов в чувствительном объеме детектора происходит высвечивание возбужденных состояний вещества, которое приводит к возникновению сцинтилляций.



Фотоэлектронный умножитель преобразует сцинтилляции в импульсы электрического тока, а также усиливает этот ток до уровня, поддающегося измерению.

Устройство измерительное предназначено для преобразования и измерения сигналов с устройства детектирования, представления информации об измерительной физической величине в удобной для визуального считывания форме, а также для вывода информации на внешнее устройство.

#### *Работа органов управления*

Кнопка "ВКЛ." предназначена для включения устройства измерительного. Индикатором включенного состояния служит световод зеленого цвета. Кнопка "РЕЖИМ" без фиксации служит для включения следующих режимов работы индуцируемых световодами:

ОСН - основной измерительный канал для измерения объемной и удельной активности блоком детектирования БДКГ-ОЗП;

К - вспомогательный измерительный канал, включаемый при работе с блоком детектирования БДКГ-ОЗП для измерения вклада калия в контролируемой пробе;

УИ - включение встроенного генератора для контроля функционирования устройства измерительного;

Кнопка  $\delta, \%$  без фиксации служит для оптимального выбора выходного счетчика импульсов, поступающих с блока детектирования; 50, 25, 12, 6 - светодиоды. Включение определенного светодиода говорит о включении счетчика импульсов различной емкости.

#### *Подготовка к работе*

**Внимание!** Категорически запрещается включать радиометр при снятой крышке блока детектирования.

Подсоедините к устройству измерительному блок детектирования

Переведите кнопочный переключатель "ВКЛ", расположенный на передней панели устройства измерительного, в положение отпущено. Подсоедините устройство измерительное к электрической сети. Нажмите кнопки "ВКЛ" включите питание радиометра, при этом на панели должны включиться световоды ОСН, 25, зеленый световод индикации включения питания и цифры индикатора.

Выдержите радиометр во включенном состоянии в течение 15 минут.

Установите коэффициент нормирования  $K_n = 1,0$ , для чего установите на кодовом переключателе комбинацию цифр 1!0!0!0!0!. При этом радиометр включен в режим измерения интенсивности счета импульсов, с-1.

Нажмите кнопку "Режим" на панели, при этом последовательно должны включиться и выключиться светодиоды "К", "УИ". В момент включения светодиода "УИ" отпустите кнопку. При этом периодически будет включаться светодиод  $\rightarrow$ , а на цифровом табло будет высвечиваться число  $(4.85 \pm 0,05)$  с-1, указывающее на исправную работу устройства измерительного.

#### *Порядок работы*

Все измерения проводите не ранее чем через 15 минут после включения радиометра.

При каждом измерении пробы (или фона) проводите 5 измерений интенсивности счета импульсов, поступающих с блока детектирования. За измеренное значение принимают среднее из этих значений, вычисленное по формуле:

$$N = (N_1 + N_2 + \dots + N_5) / n,$$

где  $N_1, 2, \dots, 5$  - интенсивность счета импульсов при измерении,  $s^{-1}$   
 $n$  - число измерений ( $n = 1, 2, \dots, 5$ ).

Считывание информации с цифрового табло, а также установку коэффициентов нормирования и коэффициента вычитания фона производите в экспоненциальном виде.

Например, комбинация на цифровом табло 123!4! соответствует числу  $1,23 \times 10^4 = 12300$ .

Комбинация цифр на кодовом переключателе для коэффициентов нормирования и коэффициентов вычитания фона !1!2!3!4!5!2! соответствует умножению выходной интенсивности счета импульсов на  $1,2 \times 10^3 = 1200$  и вычитанию из каждого результата  $4,5 \times 10^2 = 450$ .

Значение коэффициента нормирования для перевода интенсивности счета импульсов в измеряемую физическую величину по цезию-137, содержащемуся в исследуемой пробе, равно  $2,9 \times 10^1$ .

Установить статистическую погрешность единичного измерения  $\delta = 6\%$ , соответствующую включению входного счетчика импульсов емкостью 1024 имп., для чего нажать кнопку  $\delta, \%$  и в момент включения светодиода "6" отпустить кнопку. При этом автоматически происходит сброс имеющейся информации предыдущего измерения и начинается подсчет импульсов нового измерения.

Перед измерением активности пробы сначала проводят определение среднего уровня показаний радиометра, обусловленного фоновым излучением. Для этого на блоке детектирования устанавливается кювета (сосуд Маринелли) и проводят не менее 5 измерений, фона в Бк. Среднее значение фона определяется по формуле:

$$A_{\text{ф}} = (A_{\text{ф}1} + A_{\text{ф}2} + \dots + A_{\text{ф}5}) / n,$$

где  $n = 1, 2, \dots, 5$  - число измерений.

Значение фона можно установить на кодовом переключателе для автоматического его вычитания.

После определения фона заполняют кювету, устанавливают ее на блоке детектирования и проводят не менее 5 измерений активности гамма - излучающих нуклидов в пробе в Бк и определяют среднее значение показателей радиометра по формуле:

$$A_{\text{с}} = (A_{\text{с}1} + A_{\text{с}2} + \dots + A_{\text{с}5}) / n,$$

где  $n = 1, 2, \dots, 5$  - число измерений.

Расчет удельной активности ( $A_u$ ) нуклидов цезия - 137 в пробе в Бк/кг выполняют по формуле:

$$A_u = (A_c - A_f) / M,$$

где  $M$  - масса пробы, кг.

Расчет объемной активности ( $A_o$ ) нуклидов цезия - 137 в пробе в Бк/л проводят по формуле:

$$A_o = (A_c - A_f) / V,$$

где  $V$  - объем анализируемой пробы, л.

#### Форма протокола измерения

Образец	повторность					Среднее значение скорости счёта, имп./с	Удельная активность, Бк/кг
	1	2	3	4	5		
Фон							

**Примечание:** При работе радиометра в режиме автоматического вычитания фона в формулах расчета удельной и объемной активности следует полагать, что  $A_f = 0$

#### Устройство и принцип работы УСК "Гамма Плюс"



Комплекс универсальный спектрометрический УСК "Гамма Плюс" (далее - комплекс) предназначен для измерения удельной (объемной) активности бета- и гамма-излучающих нуклидов в счетных образцах спектрометрическим методом. Комплекс применяется в лабораторных условиях как установка специального назначения и является средством для измерения активности радионуклидов в продуктах питания, биологических пробах и других объектах окружающей среды.

Гамма-спектрометр представляет собой стационарную установку со

Гамма-спектрометр представляет собой стационарную установку со

сцинтилляционным блоком детектирования, ПЭВМ с программным обеспечением «Прогресс» (программа «Прогресс») для управления всеми режимами работы на всех этапах выполнения измерений, обработки результатов и их протоколирования.

Гамма-спектрометр содержит: сцинтилляционный блок детектирования на основе кристалла йодистого натрия NaI(Tl) различных размеров, блок питания и усиления импульсов, плату аналого-цифрового преобразователя (АЦП), свинцовую защиту блока детектирования от фонового излучения. Как правило, блоки питания и усиления импульсов, а также АЦП конструктивно расположены в самом блоке детектирования. Для экспонирования счетных образцов применяются различные измерительные кюветы.

Для проведения калибровки гамма-спектрометра по энергии и контроля за сохранностью параметров в его состав включается комбинированный контрольный источник ОИСН-137-1, выполненный в геометрии «сосуд Маринелли - 1 литр».

Принцип действия гамма-спектрометра заключается в получении аппаратного спектра импульсов от детектора, регистрирующего излучение счетного образца, экспонируемого в фиксированных условиях измерения. Активность радионуклида в исследуемой пробе определяется путем обработки полученной спектрограммы на ПЭВМ с помощью специального пакета программ «Прогресс». Пакет программ «Прогресс» позволяет управлять работой гамма-спектрометра, анализировать спектрограмму и идентифицировать радионуклиды, определять активность соответствующих нуклидов в пробе, рассчитывать неопределенность измерения активности и протоколировать результаты измерений.

## ***Занятие 8***

### **Радиологическое обследование сельскохозяйственных угодий**

#### *Цель работы:*

1. Ознакомиться с методикой измерения мощности дозы гамма-излучения.
2. Изучить методику радиологического картирования почв сельхозугодий.
3. Ознакомиться с методами отбора почвенных и растительных проб в радиационных исследованиях

#### *Методические указания*

Для работ по радиологическому картографированию почв хозяйства используется плано-картографической основы (масштаб 1:10000), где должны

быть нанесены почвенные разновидности, границы полей, рабочих участков, элементарных участков, их номера и маршрутные ходы.

Желательно, чтобы границы элементарных участков, их нумерация и маршрутные ходы совпадали по возможности с предыдущим туром обследования. Постоянство расположения элементарных участков по турам обследования позволяет повысить качество обследования, обеспечивать разработку долгосрочных мероприятий по повышению плодородия отдельных участков, производству нормативно чистой продукции по содержанию радионуклидов.

*Измерение мощности дозы гамма-излучения на сельскохозяйственных угодьях.* Одновременно с проведением обследования почв осуществляют замеры мощности дозы гамма-излучения, которые используются для определения доз внешнего облучения работников, занятых трудовой деятельностью непосредственно в сельскохозяйственных предприятиях и проживающих на загрязненной радионуклидами территории.

Замеры ведутся на каждом элементарном участке обследования (ЭУО) по маршрутному ходу обследований через 50-100 м и средний показатель заносится в ведомость обследований.

Основными дозиметрическими приборами для проведения замеров мощности дозы гамма-излучения /МД/ являются переносные дозиметры.

*Методика радиологического картирования почв сельскохозяйственных угодий.* Главное условие при отборе средних проб почв является их представительность, чтобы каждый образец объективно отражал уровень загрязнения участка обследования.

Смешанный образец составляется из индивидуальных образцов, количество которых зависит от многих факторов, основными из них являются степень загрязнения, характер радиоактивного выброса, пятнистость выпадения на местности, размер элементарной площади обследования, целей обследования и др.

При проведении совместного радиологического и агрохимического обследования на плане в хозяйстве уточняется территория, подлежащая обследованию, наносится нарезка полей севооборота в соответствии с последним проектом землеустройства.

Максимально допустимые размеры элементарных участков обследования на пахотных почвах выбираются в зависимости от района обследования от 5 до 25 га.

На улучшенных сенокосах и пастбищах размер элементарного участка равен 10 га.

В соответствии с установленными размерами элементарных участков на картографическую основу наносят сетку элементарных участков обследования с учетом почвенных разностей. На каждом элементарном участке проставляют его номер. Размер элементарного участка устанавливается единый для всей территории региона обследования.

Картирование территории по единой методике позволит дать конкретную характеристику участка, повысить точность определения уровней загрязнения, проводить сопоставление результатов картографирования по регионам и по турам обследования, создать информационный банк данных радиационного состояния почв территории хозяйства, района и других районов обследования.

### *Технология проведения исследований*

Обследование почв сельскохозяйственных угодий проводится с использованием маршрутного метода. Он является самым производительным и достаточно точным.

Маршрутные ходы в обязательном порядке прокладываются по середине каждого элементарного участка вдоль длинной его стороны. Отбор смешанных образцов проводят по элементарным участкам обследования (ЭУО). С каждого элементарного участка отбирают один смешанный образец. Каждый смешанный образец составляют из индивидуальных проб, равномерно отбираемых на элементарном участке по маршрутному ходу. При радиологическом обследовании индивидуальные пробы на пашне отбирают на глубину пахотного слоя, на необрабатываемых естественных экосистемах на глубину гумусового горизонта вместе с дерниной.



Учитывая микроморфологические особенности сложения почвенного профиля, каждый смешанный образец на всех типах почв состоит из 20-40 индивидуальных проб. Масса смешанного образца должна быть не менее 1

кг. С целью получения сопоставимых результатов обследования индивидуальные пробы на пахотных угодьях отбирают тростевым буром. На естественных угодьях отбор проб проводят буром Малькова или бурами различных конструкций при соблюдении указанного числа индивидуальных проб для смешанного образца.

Одновременно с отбором почвенных проб проводятся измерения мощности гамма-излучения. Замеры МД в каждой точке производятся на высоте 1 м от поверхности почвы. Количество замеров в каждой точке определяется "Инструкцией по эксплуатации..." дозиметрического прибора и должно быть не менее трех в каждой точке.

За исходную величину МД принимается усредненное значение по данным всех замеров.

### **Отбор почвенных проб в радиационных исследованиях**

При проведении радиоэкологического мониторинга образцы почв могут отбираться из всех контрольных точек. Для мониторинга радиоактивных выпадений пробы почвы отбираются из поверхностного слоя почвы (0-10 см или 0-20 см). Для этого применяются стальные цилиндрические пробоотборники. Диаметр и высота кольца-пробоотборника подбираются исходя из ожидаемого содержания радионуклидов и физических свойств почвы. В лесных биогеоценозах такая методика включает послойный раздельный отбор проб подстилки с подразделением ее на подгоризонты и отбора под ней почвенного монолита (керн) с помощью пробоотборника, позволяющего разделить почвенный монолит на отдельные слои, толщиной от 1 см. Отобранный цилиндрический монолит в полевых или лабораторных условиях выдавливается из цилиндра с помощью поршня с последовательным срезанием 1-5-сантиметровых слоев.

Для изучения распределения радионуклидов в профиле почв можно использо-

вать отбор проб почвенным буром из шурфов глубиной до 1,5-2 метров.

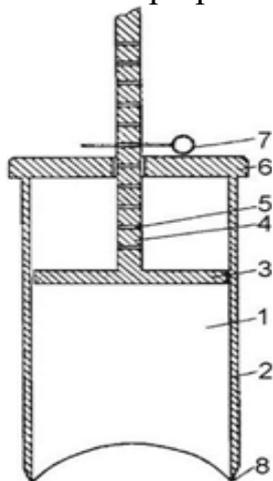


Рисунок 5. Продольный разрез прободоборника:  
1 - стальной цилиндр диаметром 6-8 см, 2 - стенка цилиндра, 3 - поршень, 4 - шток, 5 - делительное отверстие, 6 - крышка бура, 7 - ограничительная шпилька, 8 - режущая часть бура

При этом пробы отбирают из слоев: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 см. Для изучения распределения радионуклидов с учетом строения почвенного профиля необходимо закладывать почвенный разрез и отбирать пробы из выделенных почвенных горизонтов. Масса каждой пробы для измерения активностей гамма-излучающих радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) должна быть около 1 кг.

### Отбор растительных проб в радиационных исследованиях

Отбор проб растительности в радиоэкологических исследованиях проводят на загрязненных территориях и в зоне наблюдения радиационно опасных объектов. Пробы сельскохозяйственных культур отбираются один раз в год в период уборки урожая. Отбор проб производится сопряженно с отбором проб почв. Для получения достоверных результатов проводится усреднение растительных проб из 5 точечных проб, отобранных по методу «конверта». В зависимости от вида сельскохозяйственной продукции объем проб может быть различным (таб. 7).

При отборе, транспортировке и хранении проб соблюдаются условия, исключающие взаимное загрязнение проб, а также загрязнение транспортных средств и окружающей среды. Твердые, сухие и сыпучие пробы помещают в двухслойные полиэтиленовые или бумажные мешки и завязывают. Пробы с большим содержанием влаги перед упаковкой взвешивают.

Таблица 7 - Объем растительных проб при радиоэкологическом мониторинге агроценозов

Культура	Вид продукции	Минимальная масса усредненной пробы, кг
Зерновые и зернобобовые	Зерно	3,0
	Солома	3,0
Картофель, корнеплоды	Корнеплоды, клубни	5,0
	Ботва	3,0
Овощные и бахчевые	Плоды	5,0
	Ягоды	5,0
Травы	Сено, сенаж, силос	3,0

Каждая отобранная проба снабжается этикеткой, на которой приводятся следующие данные: номер пробы, номер контрольного участка или пункта, дата отбора, вид пробы, для растительных проб указывается продуктивность на единицу площади, фамилия радиолога. Пробы, хранение которых невозможно в нативном состоянии, хранятся в озоленном виде.

### **Измерение активности проб сельскохозяйственной продукции прибором СРП-68-01**

Перед проведением основного измерения, необходимо провести дезактивацию той части щупа, которая будет погружена в пробу. Для удобства дезактивации, нижнюю часть щупа, перед проведением фоновых и основных измерений, рекомендуется покрыть полиэтиленовым чехлом (кульком) или резиновой хирургической перчаткой.

При увеличении фона радиометра необходимо дезактивировать (промыть чистой водой с моющими средствами) тару, защиту, заменить резиновую перчатку (полиэтиленовый пакет) на щупе прибора до получения прежнего значения фона.

Положить контрольный источник на место измерения, поставить щуп нижним концом на источник, записать показания прибора. Периодически повторять измерения по контрольному источнику, при необходимости проводить коррекцию в соответствии с технической документацией на прибор.

Подготовка и размещение проб.

*Молоко (сыворожка, кефир, сливки, кефир, сметана, сгущенное молоко, масло растительное, соки).*

Молоко (0,7л) налить в литровую банку. На дно банки положить жестяную ленту, свернутую в виде спирали. Опустить щуп СРП-68-01 в банку по ее центру до упора с жестяной спиралью. При этом молоко заполняет банку до верхнего края.

Для повышения оперативности измерений, допускается проводить измерение активности молока в бидонах, размещая щуп сбоку вплотную к стенке бидона на уровне середины его высоты.

*Картофель, помидоры, огурцы, редис, грибы, яблоки и другие овощи и фрукты*

Чисто вымытые, обрезанные овощи или фрукты крошить ножом в количестве 0,7-1 кг. Засыпать в литровую банку 200-300 нарезанного продукта и утрамбовать до 1/4 высоты банки. Вставить щуп СРП-68-01 в банку по центру ее, заложить в банку оставшуюся часть продукта между щупом и стенкой банки и утрамбовать.

*Ягоды*

Вымытые ягоды (700 г) поместить в литровую банку и раздавить ложкой. На дно банки поместить спираль из жести. Смочить щуп чистой водой и вставить его в середину банки до упора в спираль. Ягоды при этом полностью заполнить банку до верхнего края.

*Лук, чеснок, пищевая зелень, лекарственные травы*

Чисто вымытую зелень массой 250 г положить в целлофан, сделать пакет шириной 8 см, длиной 30-32 см. Пакет обмотать дважды вокруг каждой части

щупа так, чтобы пакет свисал на 2-3 см ниже щупа. Свисающие кромки пакета вдавить ко дну щупа и закрепить пакет на щупе тесьмой.

#### *Хлеб*

Подготовить мякиш хлеба (срезав предварительно корочки, которые могут иметь также и поверхностное загрязнение, контролируемое отдельно) массой 0,7-1 кг в виде куба 10×10×10 см. Завернуть хлеб в целлофан, вдавить в середину пробы щуп на глубину 6-7 см. Обжать хлеб вокруг щупа руками и закрепить его тесьмой.

#### *Крупа, мука, сахар и другие сыпучие продукты*

Засыпать в литровую банку 700 г крупы (или другого продукта) так, чтобы до верхнего края банки оставалось 4 см. Вдавить щуп СРП 68-01 в продукт так, чтобы он располагался в центре банки на расстоянии 2-3 см от дна банки. Проба должна полностью заполнять банку до верхнего края, но не высыпаться через него.

## **Занятие 9**

### **Оценка скорости выведения из организма радионуклидов**

#### *Цель работы:*

1. Научиться определять скорость выведения радионуклидов из организма.

Скорость выведения радионуклида из тканей и органов человека и животных зависит от интенсивности обмена веществ и физико-химических свойств радиоактивного элемента или изотопа.

Время, за которое активность радионуклида, накопленного организмом, уменьшается вдвое, называется периодом биологического полувыведения  $T_6$ . Промежуток времени, в течение которого организм освобождается от половины накопленного в нем радионуклида за счет биологического выведения и распада радиоактивного элемента, называется эффективным периодом полувыведения  $T_{эфф.}$

Эффективный период полувыведения радионуклида рассчитывается по формуле:

$$T_{эфф.} = \frac{T_6 \times T_{1/2}}{T_6 + T_{1/2}}$$

где  $T_6$  – период биологического полувыведения, сут.;

$T_{1/2}$  – период полураспада радионуклида, сут.

Таблица 8 - Значения периода полураспада  $T_{1/2}$  радионуклидов

Название радиоактивного элемента или изотопа	$T_{1/2}$	Название радиоактивного элемента или изотопа	$T_{1/2}$
Радий ( $^{236}\text{Ra}$ )	$1,6 \cdot 10^3$ лет	Стронций ( $^{90}\text{Sr}$ )	28,6 лет
Калий ( $^{40}\text{K}$ )	$1,2 \cdot 10^9$ лет	Радон( $^{222}\text{Rn}$ )	3,8 сут.
Иод ( $^{131}\text{I}$ )	8,05 сут	Цезий ( $^{137}\text{Cs}$ )	30 лет
Полоний ( $^{210}\text{Po}$ )	139 сут.	Торий ( $^{232}\text{Th}$ )	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет

Пользуясь формулой и значениями величины периода полураспада различных радиоактивных элементов или изотопов, можно определить для них эффективный период полувыведения и сравнить их относительную опасность при попадании в организм. Для подобных расчетов биологический период полувыведения принимается равным 6,5 суткам.

**Пример.**

Сравнить эффективный период полувыведения радия и полония.

**Решение:**

Вначале по таблице 8 определяем, что для полония  $T_{1/2} = 139$  сут.; для радия –  $1,6 \cdot 10^3$  лет. Примем, что один год равен 365 суткам, тогда  $T_{1/2}$  для радия будет равен  $(1600 \times 365) = 584000$  суткам. Подставив данные в формулу (4), получим:

$$T_{\text{эфф.}} = \frac{6,5 \times 139}{6,5 + 139} = \frac{903,5}{145,5} = 6,21$$

для полония

$$T_{\text{эфф.}} = \frac{6,5 \times 584000}{6,5 + 584000} = \frac{3796000}{584006,5} = 6,5$$

для радия

**Ответ:**

Радионуклиды имеют близкие по величине скорости полувыведения из организма и одинаковую степень опасности для животных и человека.

**Задача 1.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радия и калия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент легче выводится из организма; как можно ускорить выведение радионуклидов.

### **Задача 2.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радия и иода. По результатам расчетов сделайте вывод – какой радионуклид легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 3.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радия и стронция. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент легче выводится из организма; как можно ускорить выведение радия и стронция.

---

### **Задача 4.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радия и радона. По результатам расчетов сделайте вывод – какой из элементов легче выводится из организма; как можно ускорить выведение радионуклидов.

---

### **Задача 5.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радия и цезия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой из радионуклидов легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 6.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радия и тория. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент легче выводится из организма; как можно ускорить освобождение от них.

---

### **Задача 7.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов иода и калия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент в этой паре легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 8.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов полония и калия. По ре-

результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент –  $Po$  или  $K$ , легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 9.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов стронция и калия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент в этой паре легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 10.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите период полувыведения для радионуклидов радона и калия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент из этих двух легче выводится из организма; как можно ускорить выведение радионуклидов.

---

#### **Задача 11.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов цезия и калия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой из двух элементов легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 12.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов тория и калия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент :  $Th$  или  $K$ , - легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 13.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов иода и полония. По результатам расчетов сделайте вывод – какие элемент –  $I$  или  $Po$  легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 14.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите период полувыведения для радионуклидов иода и стронция. По результатам расчетов сделайте вывод – какой из этих элементов легче выводится из организма; как можно ускорить выведение этих радионуклидов.

---

### **Задача 15.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов иода и радона. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 16.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов иода и цезия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой из этих элементов легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 17.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов иода и тория. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент в этой паре легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 18.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов полония и стронция. По результатам расчетов сделайте вывод – какой из этих элементов легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 19.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов полония и радона. По результатам расчетов сделайте вывод –  $Po$  или  $Rn$ , легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 20.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов полония и цезия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой из этих элементов легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

### **Задача 21.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов полония и тория. По ре-

результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 22.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радона и стронция. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент (*Rn* или *Sr*) легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 23.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов стронция и цезия. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент в этой паре легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 24.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов стронция и тория. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент из этих двух легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 25.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов цезия и тория. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 26.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радона и цезия. По результатам расчетов сделайте вывод – какие элементы (*Rn* или *Cs*) легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 27.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радона и тория. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент в этой паре легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

#### **Задача 28.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов тория и калия. По результа-

там расчетов сделайте вывод – какой из этих элементов легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

**Задача 29.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов тория и иода. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент из этой пары легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

**Задача 30.**

Воспользовавшись расчетной формулой и данными таблицы 8, определите и сравните период полувыведения для радионуклидов радия и радона. По результатам расчетов сделайте вывод – какой элемент (*Ra* или *Rn*) легче выводится из организма; как можно ускорить их выведение.

---

## Занятие 10

### Расчет эффективной дозы облучения, получаемой человеком за год

#### Цель работы:

1. Научиться проводить расчёт дозы облучения, получаемой человеком за год.

Радиационное воздействие, оказываемое на человека, может иметь естественное и искусственное происхождение и при этом суммируется. Для определения степени опасности для животных и человека постоянного радиационного воздействия небольшой интенсивности пользуются понятием эффективной (суммарной) дозы излучения, полученной организмом в течение года ЭД (см. выше).

Существует порог в действии ионизирующего излучения на живые организмы и человека, превышение которого представляет опасность для их функционирования и существования. Наиболее низкие пороговые величины ЭД облучения характерны для млекопитающих и человека.

Безопасной ЭД облучения для населения, не занятого с радиоактивными материалами и другими активными источниками излучения, составляет 500 мБэр/год.

Допустимая ЭД, например для персонала объектов с повышенным уровнем облучения, равна 5 Бэр/год. Превышение этой дозы приводит к угнетению иммунной системы человека и как следствие – возникновению и развитию различных соматических заболеваний.

При превышении ЭД излучения 100 Бэр/год вероятно развитие легкой формы лучевой болезни.

Зная, каким дозам облучения подвергается человек в различных условиях, можно рассчитать ЭД и дать оценку степени опасности для человека той дозы излучения, которую он получает в течение года.

Таблица 9 - Доза облучения, получаемая человеком при различных видах деятельности

Условия облучения	Доза облучения
Фоновое на открытом воздухе	30 мБэр/год
Фоновое в многоэтажном каменном доме	36 мБэр/год
Фоновое в деревянном доме	12 мБэр/год
Просмотр телепередач	1 мкБэр/ч
Полет на сверхзвуковом самолете	4 мБэр/ч
Выкуривание 1 пачки сигарет	9 мБэр
Рентгенография зубов	3 Бэр
Рентгеноскопия желудка	30 Бэр
Рентгеноскопия органов дыхания	20 Бэр

### Пример.

Воспользовавшись данными из таблицы 9, определим, какую ЭД излучения получает за год человек, живущий в многоэтажном каменном доме, постоянно работающий в помещении, выкуривающий в день две пачки сигарет. Просмотр телепрограмм занимает три часа в день. Один раз в год человек совершает полет на самолете в течение 12 часов.

### Решение:

Для расчетов примем, что в году 365 дней; половину суток человек находится дома. Вначале рассчитаем величину фонового облучения, получаемого человеком за год. В нашем случае человек находится в помещении из камня в течение 20 часов (12 ч – дома и 8 ч – на работе). Это составляет примерно 80% суток. Следовательно, фоновое облучение можно определить следующим образом:

$$36 \times 0,8 + 30 \times 0,2 = 28,8 + 6,0 = 34,8 \text{ (мБэр)}.$$

Курение приводит к такой величине облучения:

$$9 \times 2 \times 365 = 6570 \text{ (мБэр)}.$$

Просмотр телевизионных программ дает следующую величину облучения:

$$0,001 \times 3 \times 365 = 1,095 \text{ (мБэр)}.$$

При полете на самолете человек получает такую дозу облучения:

$$4 \times 12 = 48 \text{ (мБэр)}.$$

Просуммировав  $(34,8 + 6570 + 1,1 + 48)$ , получаем ЭД = 6833,9 мБэр, что превышает не только безопасный (500 мБэр), но и допустимый (5Бэр) уровень облучения. Каков вклад каждого вида облучения в ЭД?

Фоновое – 0,5%; курение – 98%; просмотр телепрограмм – 0,08%; полет на самолете – 0,7%.

### Вывод:

В рассматриваемом случае ЭД превышает допустимый уровень; наибольшую величину облучения человек получает за счет курения.

### Задача 1.

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий в помещении, живущий в многоэтажном доме, курящий (1 пачка сигарет в сутки), любитель телепрограмм (4 ч/сут.). Один раз в год совершает 2 полета на самолете (всего 16 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### Задача 2.

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – сельский житель, работающий на открытом

воздухе, живущий в деревянном доме, курящий (1 пачка сигарет в сутки), ежедневно примерно 3 часа смотрит телепрограммы. Один раз в год летает на самолете в гости. Длительность полета – 18 часов.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 3.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – житель небольшого города, живущий в деревянном доме и работающий на открытом воздухе 8 ч/сут., выкуривает 1 пачку сигарет и смотрит телепередачи ежедневно около 2 часов. Два раза в год совершает полет на самолете (общей продолжительностью 16 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 4.**

Пользуясь данными табл. таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – житель крупного города, работающий в помещении и постоянно живущий в многоэтажном каменном доме, курящий (1 пачка сигарет в сутки). Просмотр телепрограмм – около 1 ч/сут. По роду деятельности 5 раз за год летает самолетом (по 16 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 5**

Пользуясь данными табл. таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий в помещении из бетона и живущий в многоэтажном доме, некурящий, смотрит телепрограммы в среднем 4 ч/сут. Два раза в год совершает полет на самолете общей продолжительностью 12 ч.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 6.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – сельский житель, работающий в помещении из дерева и живущий в деревянном доме, некурящий, смотрит телепрограммы около 1 часа в сутки. Один раз в год совершает полет на самолете продолжительностью 10 ч.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 7.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий в помещении и живущий в многоквартирном доме, курящий (2 пачки сигарет за сутки), любитель телеэфира (4 ч/сут.). Сделал 1 раз рентгенограмму зуба. Совершил 2 полета на самолете (всего 12 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 8.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий на открытом воздухе весь рабочий день, живущий в многоквартирном каменном доме, некурящий, смотрит телепрограммы 3 ч/сут. 1 раз в год летал на самолете (продолжительность полета 7 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 9.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, живущий в многоквартирном доме, работающий в авиации, на крупном пассажирском самолете (полеты – 1200 ч/год), некурящий, смотрит телепрограммы в среднем 1 ч/сут.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 10.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – сельский житель, работающий на открытом воздухе 10 ч/сут., некурящий, смотрит телепрограммы 2 ч/сут. 2 раза в год летал на самолете (всего 12 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 11.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий на открытом воздухе 8 ч/сут., живущий в многоэтажном доме, курящий (2 пачки сигарет/сут), любитель телепрограмм (4 ч/сут); 1 раз в год проходит рентгеноскопическое исследование органов дыхания.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 12.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, живущий в многоэтажном доме и работающий в сверхзвуковой авиации (полеты 1200 ч/год), курящий (0,5 пачки сигарет/сут.), смотрит телепрограммы около 1,5 ч/сут.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 13.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – сельский житель, работающий в закрытом каменном помещении и живущий в деревянном доме, выкуривающий 2 пачки сигарет за сутки. Просмотр телепрограмм занимает 3 часа в сутки; 1 раз в год проходит рентгенографическое обследование органов дыхания.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

**Задача 14.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий в помещении и живущий в многоквартирном доме. За сутки выкуривает 2 пачки сигарет. Просмотр телепрограмм занимает 2 часа в сутки. По роду деятельности ежегодно совершает в среднем 4 полета на самолете по 8 часов каждый. 1 раз в год проходит рентгенографическое обследование органов пищеварения.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

**Задача 15.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий в помещении и живущий в многоквартирном доме, выкуривающий 2 пачки сигарет за сутки, смотрит телепередачи около 1ч/сут. Ежегодно он совершает 6 полетов на самолете, каждый по 6 часов.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

**Задача 16.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – житель небольшого города, работающий на открытом воздухе и живущий в деревянном доме, курящий (1 пачка сигарет/сут.), на просмотр телепрограмм тратит 2 ч/сут. За год сделал 2 рентгенограммы зубов.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

**Задача 17.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий в закрытом

помещении и проживающий в многоэтажном доме, выкуривает 2 пачки сигарет в течение суток. В год совершил 2 дальних авиапутешествия – по 10 часов каждое. Просмотр телепрограмм занимает в среднем 2 ч/сут.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 18.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий на открытом воздухе и живущий в многоэтажном доме. Он некурящий, смотрит телепрограммы 2 часа в сутки; в рассматриваемом году проходил рентгенографическое обследование желудка.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 19.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий в помещении, живущий в многоэтажном доме, курящий (1,5 пачки сигарет в сутки), любитель телепрограмм (4 ч/сут.). В рассматриваемом году совершает 2 полета на самолете (всего 10 ч) и проходил рентгенографическое исследование органов дыхания.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 20.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – сельский житель, работает на открытом воздухе 8 ч/сут., некурящий, смотрит телепрограммы 3 ч/сут. 1 раз в рассматриваемом году летал на самолете (7ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 21.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий на открытом воздухе (8 ч), живущий в многоквартирном доме, курящий (1,5 пачки сигарет за сутки), любитель телеэфира (4 ч/сут.). Сделал 12 раз рентгенограмму зуба. Совершил 1 полет на самолете (5 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 22.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – житель крупного города, работающий в помещении и живущий в многоквартирном доме, выкуривающий 2 пачки сигарет за сутки, смотрит телепередачи около 2 ч/сут. Ежегодно он совершает 6 полетов на самолете, каждый по 7 часов.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 23.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – сельский житель, живущий в кирпичном доме и работающий на открытом воздухе 8 ч/сут., некурящий, смотрит телепередачи ежедневно около 2 часов. Два раза в год совершает полет на самолете (общей продолжительностью 20 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 24.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – житель небольшого города, работающий на открытом воздухе (8 ч), живущий в многоквартирном доме, курящий (1 пачка сигарет за сутки), любитель телеэфира (3,5 ч/сут.). В рассматриваемом году совершил 2 полета на самолете (всего 12 ч).

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?  
Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

**Задача 25.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, постоянно работающий в здании из бетона и живущий в многоэтажном доме, некурящий, смотрит телепрограммы в среднем 2 ч/сут. Два раза в рассматриваемом году сделал рентгенограмму зубов.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

**Задача 26.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если – деревенский житель, работает на открытом воздухе, живущий в деревянном доме, некурящий, ежедневно примерно 3 часа смотрит телепрограммы. Один раз в год летает на самолете в гости. Длительность полета – 16 часов.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

**Задача 27.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, живущий в многоэтажном доме, работающий испытателем на авиационном предприятии (полеты – 1000 ч/год), некурящий, смотрит телепрограммы в среднем 2 ч/сут.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

**Задача 28.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – житель рабочего поселка, работающий в ка-

менном помещении и живущий в деревянном доме, выкуривающий 2 пачки сигарет за сутки. Просмотр телепрограмм занимает 3,5 часа в сутки; 1 раз в год проходит рентгенографическое обследование органов дыхания.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 29.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – городской житель, работающий на открытом воздухе и живущий в деревянном доме, курящий (1,5 пачка сигарет/сут.), на просмотр телепрограмм тратит 3 ч/сут. За год сделал 2 рентгенограммы зубов.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

### **Задача 30.**

Пользуясь данными таблицы 9, рассчитайте, какому облучению подвергается человек в течение года, если он – сельский житель, работающий помещении из дерева и живущий в деревянном доме, некурящий, смотрит телепрограммы около 2 часов в сутки. Один раз в год совершает полет на самолете продолжительностью 10 ч.

Оцените уровень облучения, сравнив его с нормативами ЭД.

Каков вклад (в %) каждого вида деятельности в суммарное облучение?

Что является наиболее опасным источником облучения в Вашей задаче?

---

---

## *Занятие 11*

### **Принципы нормирования в области радиационной безопасности**

*Цель занятия:*

1. Изучить организации занимающиеся регламентированием действия радиации
2. Ознакомиться с нормативами, действующими на территории Российской Федерации.

Проблема защиты населения от действия ионизирующих излучений имеет глобальный характер, а потому соответствующие научно-исследовательские и организационные мероприятия разрабатываются международными организациями, рекомендации которых используются отдельными странами при составлении собственных национальных регламентов.

Первый международный акт такого рода был предпринят в 1928 г., когда на II Международном радиологическом конгрессе в Стокгольме был создан Комитет по защите от рентгеновских лучей и радия. В 1950 году Комитет был реорганизован в Международную Комиссию по радиологической защите (МКРЗ). В 1956 году МКРЗ вступила в организационные отношения со Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в качестве «неправительственной соучаствующей организации». Согласно уставу, МКРЗ анализирует и обобщает все достижения в области защиты от ионизирующих излучений и периодически разрабатывает соответствующие рекомендации, исходя из основных научных принципов. В декларациях МКРЗ подчеркивается, что она предоставляет национальным комиссиям по защите от излучений отдельных стран право и ответственность за применение рекомендуемых в ее публикациях инструкций или правил соответственно внутригосударственным условиям. Такая комиссия по радиационной защите (РНКРЗ) существует и в России.

МКРЗ тесно сотрудничает с Международной комиссией по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ).

В 1955 году при ООН организован Научный комитет по действию атомной радиации (НКДАР), осуществляющий сбор и анализ международной информации о различных аспектах действия ионизирующих излучений на живые организмы. НКДАР периодически получает задания от Генеральной Ассамблеи ООН и осуществляет их выполнение, привлекая для этих целей МКРЗ, МКРЕ и другие организации в тесном сотрудничестве с ВОЗ. Изучением последствий облучения занимается и американский Комитет по биологическому действию ионизирующих излучений (BEIR).

Все перечисленные международные организации в своих публикациях и других документах предлагают лишь рекомендации по основным принципам регламентирования действия радиации, а также обосновывают проблемы, нуждающиеся в дальнейшей научной разработке. Эти рекомендации не являются обязательными для принятия в законодательные акты и документы отдельных стран.

Существует еще одна международная организация – Международное

агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), курирующая вопросы, связанные с радиационной безопасностью на всех этапах работ по мирному использованию атомной энергии. МАГАТЭ является официальной организацией ООН, и все страны – члены МАГАТЭ – обязаны выполнять утвержденные ею официальные нормы и правила обращения с источниками ионизирующих излучений, если возникающие при этом вопросы касаются межгосударственных отношений.

Наиболее представительной и авторитетной международной организацией, обобщающей и анализирующей научные данные по действию ионизирующих излучений на организм человека и человечество в целом, является НКДАР ООН. В плане подготовки конкретных рекомендаций для разработки национальных стандартов и регламентов при работе с ионизирующими излучениями такой организацией является МКРЗ, а в плане официальных международных соглашений по вопросам использования атомной энергии – МАГАТЭ.

За гигиеническое нормирование (регламентация) ионизирующих излучений в России отвечает ряд документов.

Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» от 9 декабря 2011 г. N 880 устанавливает допустимые уровни радионуклидов в пищевой продукции.

Оценку радиационной обстановки выполняется по требованиям СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ- 99/2009) и ОСПОРБ-99/2010, а также других федеральных и ведомственных нормативно-методических документов.

НРБ-99 являются основополагающим документом, регламентирующим требования Федерального закона «О радиационной безопасности населения» – ФЗ №3 от 09.01.1996 г.

Нормы устанавливают, что обеспечение радиационной безопасности основывается на 3 принципах:

**Принцип нормирования** – не превышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения.

**Принцип обоснования** – запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением.

**Принцип оптимизации** – поддержание на возможно низком и достижимом уровне, с учетом экономических и социальных факторов, индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц.

Нормы (НРБ-99) распространяются на облучение человека:

- в условиях радиационной аварии;
- от природных источников облучения;
- при облучении в медицинских целях.

Для нормальных условий работы источников излучения установлены три категории облучаемых лиц: персонал, подразделяемый на группы А и Б, и население, которое включает и лиц из персонала, но вне сферы их производственной деятельности.

Устанавливаются три класса нормативов.

*Основные пределы доз* для персонала и населения. Для персонала группы Б основные пределы доз равны 1/4 значений для персонала группы А. Пределы годовой эффективной дозы, приведенные в таблице 29 не должны превышать и в случаях одновременного воздействия на человека источников внешнего и внутреннего облучения.

По нормам радиационной безопасности (НРБ-99) установлены основные пределы доз (табл. 10).

*Эффективная доза* для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв. Начало периодов вводится с 1 января 2000 года.

Таблица 10 – Основные пределы доз для персонала и населения

Нормируемые величины	Пределы доз	
	персонал (группа А)	население (группа В)
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 глаза	150	15
коже	500	50
кистях и стопах	500	50

Основные дозовые пределы приведены в единицах эквивалентной дозы (Зв), используемой при радиационном нормировании и оценке опасности хронического воздействия ионизирующего излучения произвольного состава.

Помимо перечисленных понятий, в радиационной безопасности широко используются термины годовой и коллективной эффективной или эквивалентной дозы.

*Годовая эффективная (эквивалентная) доза* – это сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением за этот же год в организм радионуклидов.

*Коллективная эффективная доза* – это мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, равная сумме индивидуальных коллективных доз; она измеряется в человеко-зивертах (чел. × Зв).

Единицей эффективной дозы также является зиверт (Зв).

*Допустимые уровни монофакторного воздействия* (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), они являются производными от основных пределов доз: пределов годового поступления радионуклидов (ППП), допустимой среднегодовой объемной активности (ДОВА) и среднегодовой удельной активности (ДУА) и др.

*Контрольные уровни* (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень ради-

ационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Особые меры предосторожности требуются при работе с радиоактивными препаратами в лабораториях, где обслуживающий персонал подвергается ежедневному длительному воздействию ионизирующего излучения. При работе с альфа-излучающими препаратами особого экранирования не требуется, поскольку пробег альфа-частиц в воздухе не превышает нескольких сантиметров. В этом случае достаточной мерой защиты можно считать удаление от источника радиации. Для защиты от бета-излучения необходимы не очень толстые экраны из материалов, не содержащих тяжелые элементы (во избежание возникновения тормозного излучения). Наиболее подходящий материал для защиты от бета-лучей – оргстекло. Для изоляции персонала от гамма-квантов требуются толстые экраны (желательно свинцовые).

Следует строго контролировать время пребывания людей вблизи источников радиоактивного излучения.

Основную дозу облучения население получает от естественных источников радиации. Поскольку современный человек проводит большую часть времени в помещениях, то радиационный фон внутри зданий играет первостепенную роль в облучении людей. Поле гамма-излучения внутри помещений в основном создается строительными материалами, используемыми для сооружения зданий. Среднемировое значение объемной активности изотопов радона в воздухе жилых помещений составляет 50 Бк/м<sup>3</sup>. Среднемировая величина годовой эффективной дозы облучения населения за счет изотопов радона и его короткоживущих дочерних продуктов распада равна 1,26 мЗв/год. Для населения России эта доза значительно выше – 1,89 мЗв/год. В первую очередь это зависит от конструкции жилых и общественных зданий, подчиняющихся климатическим условиям. В свою очередь климатические условия имеют широтную зависимость. Таким образом, объемная активность изотопов радона в закрытых помещениях возрастает с увеличением широты местности. Территория России находится в высоких широтах, поэтому для нее характерны довольно большие значения объемной активности радона в воздухе закрытых помещений.

## *Занятие 12*

### **Проблемы производства экологически безопасной продукции в условиях радиоактивного загрязнения**

*Цель занятия:*

1. Изучить источники и особенности загрязнения продукции радионуклидами.
2. Рассмотреть пути загрязнения продукции радионуклидами.
3. Определить технологические приемы снижения загрязнения продукции радионуклидами и их негативного воздействия на человека.

Основными источниками техногенных радионуклидов в агрофере являются остаточные количества долгоживущих радионуклидов, поступивших в нее результате испытаний ядерного оружия и аварий на атомных электростанциях. Наиболее значимыми искусственными радионуклидами, загрязняющими агроландшафты, являются стронций-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) с периодом полураспада 28,5 года и цезий-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) с периодом полураспада 30,2 года. Потребление радионуклидсодержащих продуктов приводит к формированию источников внутреннего облучения человека из-за накопления радиоактивных веществ в его организме. В различных радиологических ситуациях, связанных с поступлением радионуклидов в природную среду, именно внутреннее облучение вносит основной вклад в суммарное облучение человека. После Чернобыльской катастрофы поступление  $^{137}\text{Cs}$  (одного из основных компонентов радиоактивных выпадений) с пищевыми продуктами обеспечивало до 70-80% общей дополнительной (аварийной) дозы облучения населения.

Радиоактивные вещества, попадающие в почву, частично вымываются и загрязняют грунтовые воды, но почва довольно прочно удерживает их и обеспечивает очень длительное их нахождение в почвенном горизонте и поступление в сельскохозяйственную продукцию за счет почвенного поглощающего комплекса (ППК).

Гранулометрический состав почвы влияет на закрепление радиоактивных веществ в почве следующим образом:

- тяжелые почвы сильнее закрепляют поглощенные радионуклиды, чем легкие;
- радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  поглощается и удерживается почвой в большей степени, чем  $^{90}\text{Sr}$ .

Минералогический состав почвы также оказывает существенное влияние на эти процессы. Наибольшей поглотительной способностью обладают минералы монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд, наименьшей – каолининовой группы. Поглощенный  $^{137}\text{Cs}$  в отличие от  $^{90}\text{Sr}$  прочнее сорбируется минералами.

Среди сельскохозяйственных культур в наибольшей степени загрязняются травянистые растения естественных лугов, в наименьшей – злаковые. По степени увеличения накопления  $^{137}\text{Cs}$  в хозяйственно ценной части урожая культуры располагаются в следующем порядке: пшеница – ячмень – горох – просо – гречиха – картофель – фасоль – чумиза – бобы.

В растениях радионуклиды накапливаются преимущественно в вегетативных органах. Так, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в вегетативной массе в 2-4 раза выше, чем в репродуктивных органах. Наименьшей способностью накопления  $^{137}\text{Cs}$  характеризуются зерновые злаковые культуры и многолетние травы, наибольшей – листовые овощи; корнеплоды и зернобобовые занимают промежуточное положение.

Различные виды грибов (в т.ч. белые) активно накапливают  $^{137}\text{Cs}$ , основное количество которого находится в спороносной ткани (пластинки, трубчатка) шляпки плодового тела. Еще в 1989 г. в Германии предостерегали население от сбора грибов из-за повышенного содержания в них цезия-137.

Поступление радионуклидов из почв в сельскохозяйственные культуры (в т.ч. кормовые), затем по трофической цепи в молоко и мясо домашних животных, является основными потоками радионуклидов с пищевыми продуктами в организм человека. Потоки радионуклидов с пищевыми продуктами по трофической цепи являются определяющими факторами в формировании дозы внутреннего облучения человека. Существенный вклад в дозу внутреннего облучения населения вносят: грибы, ягоды, рыба и мясо диких животных.

После накопления радиоактивных веществ растениями начинается следующее звено перемещения радионуклидов, а именно миграция их в организм животных и человека (рис. 6).

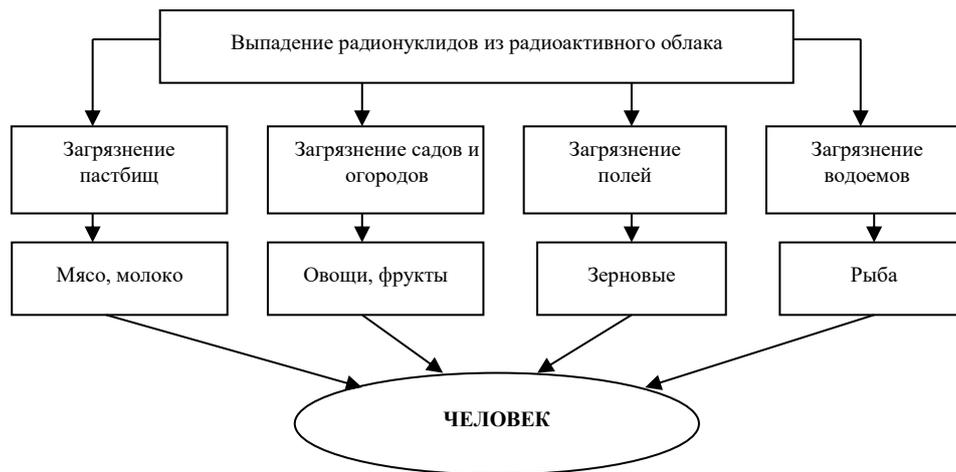


Рисунок 6. Схема движения радионуклидов по пищевым цепям

Зная вклад каждого потока радионуклидов в экосистеме, можно оценить и рассчитать дозу внутреннего облучения человека, а также разработать систему мероприятий, ограничивающую передвижение радионуклидов по трофической цепи.

Основное количество радионуклидов (96-97 %), вовлеченных в сферу сельскохозяйственного производства, содержится в кормах, используемых в хозяйствах и расположенных на загрязненных территориях. Наибольший поток  $^{137}\text{Cs}$  связан с сеном естественных сенокосов. Наименьший поток его связан с производством зерна, картофеля и корнеклубнеплодов.

В систему мероприятий по снижению содержания радионуклидов в растениеводческой продукции входят:

- агротехнические мероприятия (снятие верхнего слоя почвы, проведение глубокой вспашки с оборотом пласта, биологический вынос радионуклидов с урожаем и с последующим их захоронением, подбор культур с низким коэффициентом накопления радионуклидов, коренное улучшение лугов и пастбищ, промывка почв химическими реагентами – растворами кислот, щелочей, нейтральных солей или комплексов);
- агрохимические мероприятия (известкование кислых почв, внесение органических удобрений, внесение повышенных доз калийных и фосфорных удобрений, внесение природных минеральных сорбентов);
- технологические приемы переработки продукции (промывка в про-

точной воде овощей и фруктов; очистка овощей, удаление кроющих листьев; варка продукции, маринование, квашение, засолка продукции; помол зерна в муку, производство круп; переработка подсолнечника и сои – на растительное масло, картофеля – на крахмал и спирт, сахарной свеклы – на сахар).

Эффективным приемом снижения содержания радионуклидов в продукции является выращивание на загрязненной территории тех сельскохозяйственных культур и их сортов, которые отличаются более низким накоплением радиоактивных веществ. К таким культурам относятся те, в которых содержится низкое количество калия и кальция. Так озимые культуры накапливают радионуклидов в 1,5 – 2 раза меньше, чем яровые зерновые. Поэтому при разработке севооборотов рекомендуется увеличить долю озимых культур и картофеля, и уменьшить площадь яровых зерновых. Установлено, что скороспелые сорта накапливают радионуклиды в 1,5 – 2 раза больше, чем позднеспелые. Это также необходимо учитывать при отборе сортов, увеличивая площади позднеспелых и уменьшая площади скороспелых.

Оптимизация минерального питания растений (в частности, фосфорного, калийного и кальциевого) снижает загрязнение продукции радионуклидами в 2 – 3 раза. Эффективным приемом снижения содержания радионуклидов в растениях является сочетание применения калийных удобрений и известкования. За счет этих мероприятий достигается снижение поступления  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственную продукцию в 2 – 20 раз. Это связано с изменением кислотности почвенного раствора и увеличением в нем концентрации кальция, что усиливает закрепление радионуклидов в почве и снижает их доступность растениям. Сочетание полных доз извести и оптимальных доз минеральных удобрений значительно снижает поступление радионуклидов в растения. Действие извести проявляется на протяжении семи лет. Следует также отметить, что на размеры поступления  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения большое влияние оказывает фосфор, а на поступление  $^{137}\text{Cs}$  – калий.

Однако применение физиологически кислых минеральных удобрений на слабокислых или кислых почвах повышает кислотность почвенного раствора, что может увеличить поступление радионуклидов в растения. На таких почвах вначале необходимо произвести известкование, а затем вносить минеральные удобрения.

В систему мероприятий по снижению содержания радионуклидов в животноводческой продукции входит: изменение режима содержания животных; изменение рационов кормления; технологические приемы переработки продукции (переработка молока на сметану, творог, сыр, масло; вымачивание мяса в воде или солевом растворе; вываривание мяса с последующим удалением бульона; перетапливание сала).

Технологическая переработка является важным фактором снижения радиоактивного загрязнения продукции животноводства. При производстве сливочного масла уровень содержания радионуклидов снижается на 36 – 76 % от их количества в молоке. В топленом сливочном масле количество радионуклидов уменьшается на 10 %. Предварительное вымачивание мяса в пресной воде, затем трехмесячная выдержка его в 25%-ном рассоле и последующая варка

снижают содержание  $^{137}\text{Cs}$  на 90 %. При варке мяса в бульон переходит 70 – 80 % цезия-137 и 0,04 % стронция-90, содержащихся в исходном продукте.

Рассмотрим общие положения по ведению сельскохозяйственного производства в регионе чернобыльской катастрофы в зависимости от плотности загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$ .

#### **А. Плотность загрязнения 1 - 5 Ки/км<sup>2</sup>.**

1. В области растениеводства применимы любые технологии без каких-либо ограничений.

2. При использовании естественных сенокосов и пастбищ на торфяных и торфяно-глеевых почвах необходим контроль содержания радионуклидов в травостое.

#### **Б. Плотность загрязнения 5 - 15 Ки/км<sup>2</sup>.**

1. При данной плотности загрязнения качество растениеводческой продукции, как правило, соответствует принятым нормативам и производство ведется без ограничений. Однако рекомендуется прогнозная оценка уровня загрязнения отдельных видов продукции, особенно при использовании почв легкого гранулометрического состава.

2. Рекомендуется проведение мероприятий по снижению поступления радионуклидов в травостой естественных сенокосов и пастбищ, особенно расположенных в поймах и на органических почвах, а также контроль за содержанием радионуклидов в травостое.

3. Запрещается использование сена естественных угодий без предварительного контроля уровня загрязнений для лактирующих коров в стойловый период.

4. Рекомендуется выпас молочного скота на улучшенных культурных пастбищах после отрастания травостоя не менее чем на 10 см.

5. Основное внимание необходимо уделять радиационному контролю за содержанием радионуклидов в молоке и мясе сельскохозяйственных животных.

#### **В. Плотность загрязнения 15 - 40 Ки/км<sup>2</sup>.**

1. В растениеводстве требуется выполнение полного комплекса защитных мероприятий. Необходим радиационный контроль качества продукции, особенно полученной на почвах легкого гранулометрического состава.

2. Запрещается применение местных органических удобрений животного происхождения на почвах с плотностью загрязнения ниже 25 Ки/км<sup>2</sup>.

3. Рекомендуется коренное улучшение суходольных лугов, используемых в качестве пастбищ.

4. При плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  выше 25 Ки/км<sup>2</sup> исключается возделывание зернобобовых, льна и гречихи, поскольку эти культуры отличаются повышенным выносом радионуклидов из почвы.

5. При загрязнении  $^{137}\text{Cs}$  от 25 до 40 Ки/км<sup>2</sup> содержание коров должно быть исключительно стойлово-выгульным. Допускается использование сена только сеяных трав. За 1 - 2 месяца до убоя (в зависимости от прогнозных оценок) рекомендуется перевод животных на «чистые» корма.

#### **Г. Плотность загрязнения более 40 Ки/км<sup>2</sup>.**

Согласно зональному делению земель при уровне загрязнения почвы

$^{137}\text{Cs}$  более 40 Ки/км<sup>2</sup> данная территория относится к так называемой «зоне отчуждения», в которой величина годовой эффективной эквивалентной дозы может превышать 50 мЗв. Согласно действующим нормам радиационной безопасности (НРБ-99) в зоне отчуждения постоянное проживание не допускается, хозяйственная деятельность и природопользование регулируются специальными актами, осуществляются меры мониторинга и защиты работающих с обязательным дозиметрическим контролем.

Однако реально на территориях, относящихся к зоне отчуждения, значительная часть населения продолжает жить и вести сельскохозяйственное производство. Этим обстоятельством объясняется противоречивая ситуация, в которой даются рекомендации по ведению сельского хозяйства на территориях, для которых данный вид деятельности противопоказан по любым критериям.

1. Итак, при уровнях загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  выше 40 Ки/км<sup>2</sup> выращивание продовольственных и кормовых культур не допускается. Необходимо предельное сокращение земель сельскохозяйственного использования, по крайней мере, на несколько десятков лет (в зависимости от уровня загрязнения).

2. Если невозможно полностью исключить сельскохозяйственное производство, то следует перепрофилировать хозяйственную деятельность.

Основные направления перепрофилирования в условиях радионуклидных загрязнений предполагают, прежде всего, исключение производства продуктов животноводства и продовольственных культур, кроме производства овощей защищенного грунта, если позволяют экономические ресурсы и соответствующая квалификация персонала.

Среди других направлений перепрофилирования производства можно выделить следующие:

1) производство технических, масличных и эфиромасличных культур (волокнистые и прядильные культуры; сахарная свекла; подсолнечник, рапс, конопля и клещевина для получения как пищевого, так и технического масла; картофель для переработки на спирт и др.);

2) семеноводство различных видов растений. Даже в случае получения семенной продукции, например зерна, имеющей высокий уровень загрязнения радионуклидами, последующее выращивание растений из этих семян на незагрязненных территориях приведет к разбавлению концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на единицу массы и получению практически чистой конечной продукции;

3) выращивание саженцев плодовых и декоративных культур;

4) лесоразведение.

В животноводстве перепрофилирование отрасли предполагает также несколько вариантов:

1) изменение состава поголовья скота. Установлено, что наиболее чистое мясо производится в свиноводстве, наиболее загрязненное - в овцеводстве. Крупный рогатый скот занимает в этом отношении промежуточное положение. Птицеводство является отраслью, обеспечивающей наименьшее загрязнение продукции животноводства радионуклидами;

2) перевод направленности хозяйства с молочного на мясное, исходя из того, что производство молока является наиболее рискованным направлением хозяйствования на территории, загрязненной радионуклидами;

3) частичная или полная ориентация на производство непищевой продукции животноводства, например организация ферм для пушного звероводства.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие растения в большей степени накапливают радионуклиды?
2. Что такое внутреннее облучение организма и чем оно вызвано?
3. Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию.
4. Какие основные источники поступления радионуклидов в организм человека в Брянской области?
5. Особенности сельскохозяйственного использования территорий с различной плотностью радиоактивного загрязнения.

## **Занятие 13**

### **Прогнозирование поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию**

#### *Цель занятия:*

Изучить методы проведения прогноза загрязнения продукции растениеводства радионуклидами.

В период поверхностного загрязнения почвы и корневого поступления радионуклидов в растения необходимо прогнозирование поступления радионуклидов в растениеводческую и животноводческую продукцию.

**Прогноз загрязнения растениеводческой продукции.** Прогноз загрязнения растениеводческой продукции позволяет заблаговременно планировать набор культур для возделывания на загрязненных радионуклидами угодьях, их размещение по полям севооборотов и отдельным участкам с учетом плотности загрязнения почв и возможности использования получаемой продукции.

Для прогнозирования поступления радионуклидов в корма и продукцию животноводства необходимо прежде всего установить, какими радионуклидами загрязнены воздух и территории сельскохозяйственных угодий и каковы плотность и равномерность этих загрязнений. Другие важнейшие показатели – биологическая доступность и способность радионуклидов мигрировать по пищевым цепочкам.

Содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции зависит как от плотности загрязнений, так и от типа почв, от их гранулометрического состава и агрохимических свойств. При повышении содержания в почве физической глины от 5 до 30%, гумуса от 1 до 3,5% переход радионуклидов в растения снижается в 1,5-2 раза, по мере содержания в почве подвижных форм калия и фосфора от низкого ( $K_2O$  менее 100 мг/кг почвы) до оптимального (200-300 мг/кг) и изменения реакции почвы от кислой (рН 4,5-5,0) к нейтральной (рН 6,5-7,0) – в 2-3 раза.

Еще в большей степени на накопление радионуклидов влияет режим увлажнения почвы. Минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  в многолетних травах обеспечивается при поддержании уровня грунтовых вод на глубине 90-120 см от поверхности осушенных торфяных и торфяно-глеевых почв. На переувлажненных песчаных и торфяных почвах высокая степень загрязнения кормов и молока наблюдается даже при относительно низких плотностях загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  (2-5 Ки/км<sup>2</sup>) и  $^{90}\text{Sr}$  (0,3-1 Ки/км<sup>2</sup>). В то же время на окультуренных участках дерново-подзолистых суглинистых почв продукция с допустимым содержанием радионуклидов получается при плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  до 20-30 Ки/км<sup>2</sup>, существенно, на переход  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в растение влияет содержание в ней органического вещества. Поступление этого радионуклида в растения из торфяных почв превышает его поглощение из минеральных почв в несколько раз.

Сортовые различия в накоплении радионуклидов значительно меньше (до 1,5-3 раз).

Для прогноза накопления радионуклидов в продукцию растениеводства используются:

а) коэффициенты перехода из почвы в урожай в расчете на 1 Ки/км<sup>2</sup>, которые дифференцированы в зависимости от типа и гранулометрического состава почв, содержания обменного калия и реакции почвенной среды (см. табл. 11);

б) результаты агрохимического и радиологического обследований почв.

Таблица 11 – Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в урожае растений, нКи/кг, при плотности загрязнения почвы 1 Ки/км<sup>2</sup>

Культура	Часть урожая	Дерново-подзолистые почвы				Серые лесные почвы	Чернозёмы
		песчаные	супесчаные	легко- и среднесуглинистые	тяжелосуглинистые		
Пшеница озимая	Зерно	0,4	0,2	0,06	0,03	0,05	0,01
Рожь озимая	Зерно	0,4	0,2	0,06	0,03	0,05	0,01
Пшеница яровая	Зерно	0,7	0,5	0,17	0,08	0,12	0,03
Овёс	Зерно	0,8	0,4	0,13	0,06	0,09	0,03
Ячмень	Зерно	0,6	0,4	0,13	0,06	0,09	0,03
Горох	Зерно	4,0	1,0	0,3	0,16	0,20	0,05
Гречиха	Зерно	1,0	0,5	0,15	0,10	0,13	0,04
Кукуруза	Зелёная масса	0,6	0,3	0,1	0,05	0,07	0,02
Картофель	Клубни	0,4	0,2	0,1	0,03	0,08	0,05
Капуста	Кочаны	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,04
Свёкла столовая	Корнеплоды	2,0	1,0	0,4	0,2	0,25	0,07

**Определение уровня содержания радионуклидов с использованием коэффициента пропорциональности накопления в растениеводческой продукции.**

Для прогноза уровня загрязнения конкретной культуры радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  необходимо коэффициенты, рассчитанные для плотности загрязнения почв  $1 \text{ Ки/км}^2$  ( $37 \text{ кБк/м}^2$ ) умножить на величину плотности фактической загрязненности почвы:

$$A = B \times K \times 37,$$

где:  $A$  – уровень загрязненности растениеводческой продукции, Бк/кг;

$B$  – плотность загрязнения почвы,  $\text{Ки/км}^2$ ;

$K$  – коэффициент пропорциональности (удельная радиоактивность 1 кг продукции при плотности загрязнения почв  $1 \text{ Ки/км}^2$ , данные таблицы 11),  $\text{нКи/кг}$ ;

37 – коэффициент для перевода нКи в Бк.

Сопоставляя полученную величину с нормативной величиной, определяем возможность использования корма.

Например: необходимо определить уровень радиоактивной загрязненности зерна озимой ржи (по  $^{137}\text{Cs}$ ) на дерново-подзолистой суглинистой почве. Плотность загрязнения почвы по данным радиохимических исследований равна  $18 \text{ Ки/км}^2$ .

По данным таблицы 11 коэффициент пропорциональности равен  $0,06 \text{ нКи/кг}$ .

Решение:  $A = 18 \text{ Ки/км}^2 \times 0,06 \times 37 = 40 \text{ Бк/кг}$ .

**Метод определения накопления  $^{90}\text{Sr}$  в растениях с помощью комплексного показателя (КП) В.М. Ключковского.**

Для определения содержания  $^{90}\text{Sr}$  в растениях пользуются формулой:

$$A = \text{КП} \times a/c,$$

где:  $A$  – содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почве, с. ед. (стронциевые единицы);

$c$  – содержание Са на 100 г почвы, мг-экв.;

$a$  – плотность загрязнения почвы радионуклидом  $^{90}\text{Sr}$ ,  $\text{мКи/км}^2$  или  $\text{Бк/м}^2$ ;

КП – комплексный показатель по В.М. Ключковскому (табл. 12).

Таблица 12 - Величина комплексного показателя (КП) для сельскохозяйственной продукции

Вид продукции	Значение КП	
	экстремальные	средние
Сено:		
естественных лугов	30-200	60
клевера	13-16	15
люцерны	11-14	12
Силосные культуры и солома	9-16	14
Зерно злаковых и бобовых	7-11	9

Одна стронциевая единица – отношение концентрации  $^{90}\text{Sr}$  (пКи/кг продукции) к концентрации в нем кальция (г/кг). При поверхностном загрязнении естественных кормовых угодий  $^{90}\text{Sr}$ , равном 1 мКи/км<sup>2</sup> (37 Бк/м<sup>2</sup>) 1 кг сухого вещества естественных трав содержит 4,9 с.е., сеяных злаковых трав – 1,5 с.е., свеклы – 1,7 с.е., клубней картофеля – 1,56 с.е., а в 1 кг зерна пшеницы – 0,8 с.е.  $^{90}\text{Sr}$ .

Например: необходимо дать прогноз концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в сене клевера, если известно, что содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почве равно 40 мКи/км<sup>2</sup> (1480 Бк/м<sup>2</sup>), а содержание обменного Са – 10 мг-экв./100 г почвы.

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в растениях составит:

$$A = 15 \times (40 \text{ мКи/км}^2 / 10 \text{ мг-экв.}) = 60 \text{ с.е.}$$

Этот метод прогноза вполне удовлетворителен на пахотных землях с содержанием обменного Са от 4 до 25 мг-экв./100 г почвы.

**Определение содержания  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческой продукции методом проростков (по Б.Н. Анненкову и Е.В. Юдинцевой).** Берутся образцы почв с глубины пахотного слоя конкретного поля, тщательно перемешивают, затем на таком усредненном образце высевают пророщенные семена. Через 20 дней надземную массу растений срезают на уровне почвы, промывают проточной водой, высушивают и в воздушно-сухом материале определяют содержание радионуклидов. Уровень загрязнения урожая прогнозируют, умножая данные о содержании радионуклидов в проростках на коэффициенты перехода (табл. 13).

Таблица 13 - Коэффициенты перехода от содержания радионуклидов в 20-дневных растениях к вероятному их накоплению в урожае

$^{137}\text{Cs}$			$^{90}\text{Sr}$		
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	Озимая пшеница	0,060	0,60
Гречиха	0,21	0,39	Яровая пшеница	0,045	0,70
Вика	0,35	0,70	Горох	0,040	1,25
Картофель	0,56	0,70	Картофель	0,035	0,70

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

Метод проростков не требует предварительного анализа на содержание в почве обменноспособной части радионуклидов, а также проведения агрохимических исследований.

### *Контрольные вопросы*

1. В каком случае возникает необходимость проведения прогноза загрязнения сельскохозяйственной продукции?
2. Какие показатели используются при проведении прогноза загрязнения радионуклидами сельскохозяйственной продукции?

### **Темы рефератов**

1. Основные этапы развития сельскохозяйственной радиологии.
2. Основные достижения, открытия сельскохозяйственной радиологии.
3. Основные проблемы и перспективы развития сельскохозяйственной радиологии.
4. Общая характеристика и виды электромагнитных ионизирующих излучений.
5. Природный радиационный фон, источники его формирования.
6. Источники искусственных ионизирующих излучений.
7. Аварии на ядерных объектах и основные очаги радиоактивных загрязнений на территории России.
8. Приборы дозиметрического контроля.
9. Внешнее и внутреннее облучение человека. Источники облучения.
10. Основные типы морфологических изменений органов растений при действии ионизирующих излучений.
11. Особенности прямого и косвенного действия ионизирующих излучений на организм.
12. Радиочувствительность растений, ее зависимость от фазы развития.
13. Механизм очищения тропосферы и стратосферы от различных радионуклидов.
14. Влияние биологических особенностей растений на накопление радионуклидов в урожае при некорневом загрязнении.
15. Влияние биологических особенностей растений на накопление радионуклидов в урожае при корневом питании.
16. Особенности загрязнения радионуклидами луговой растительности.
17. Загрязнение радионуклидами лесных насаждений.
18. Основные пути поступления радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных.
19. Поступление радионуклидов из различных типов почв. Причины различий.
20. Методы снижения содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции при переработке.
21. Пути снижения содержания радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур.
22. Роль органических, известковых, фосфорно-калийных удобрений в механизме поступления радионуклидов в растения.
23. Организационные мероприятия на загрязненных радионуклидами пахотных почвах.

24. Агротехнические мероприятия на загрязненных радионуклидами пахотных почвах.
25. Агрохимические мероприятия на загрязненных радионуклидами пахотных почвах.
26. Использование ионизирующих излучений для стимуляции роста и развития растений, для сохранения продукции растениеводства
27. Метод радиоактивных индикаторов, использование его в биологических и агрохимических исследованиях.
28. Радоновая проблема.
29. Общие условия и требования при ведении сельскохозяйственного производства на территориях, загрязнённых радионуклидами.
30. Зоны радиационно-экологической опасности. Их характеристика
31. Мероприятия на пахотных землях с плотностью загрязнения 1-5 Ки/км<sup>2</sup>.
32. Мероприятия на пахотных землях с плотностью загрязнения 5-15 Ки/км<sup>2</sup>.
33. Мероприятия на пахотных землях с плотностью загрязнения 15-40 Ки/км<sup>2</sup>.
34. Мероприятия на пахотных землях с плотностью загрязнения более 40 Ки/км<sup>2</sup>.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, Ю.А. Основы радиационной экологии: учебное пособие / Ю.А. Александров. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2007. – 268 с.
2. Анненков, Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии: учебное пособие / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. - 287 с.
3. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Ветеринарные правила и нормы. ВП 13.5.13/06-01 // Ветеринар. патология. – 2002. – № 4. – С. 44–45.
4. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав РФ, 2002. –164 с.
5. Закон РФ от 15.05.1991 № 1244-1 (ред. от 30.10.2017) «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».
6. Манахов, Д.В. Практика по радиоэкологии: учебно-методическое пособие для студентов факультета почвоведения МГУ / Д.В. Манахов, Д.Н. Липатов, А.И. Щеглов. – М. : МАКС Пресс, 2018. –52 с.
7. МУ 13.5.13-00. Организация государственного радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в зоне воздействия радиационно опасных объектов (утв. Минсельхозом РФ 7 августа 2000 г.).
8. Новикова, Л.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии: учебно-методическое пособие / Л. Н. Новикова. — Иркутск: Иркутский ГАУ, 2015. — 185 с. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/143204> (дата обращения: 22.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
9. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09 // Российская газета. Специальный выпуск. – 2009. – № 171/1.
10. Романенко, А.А. Основы радиоэкологии: практикум / А.А. Романенко. - Брянск : Издательство БГСХА, 2000. - 53 с.
11. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» от 9 декабря 2011 г. N 880.
12. Торшин, С.П. Практикум по сельскохозяйственной радиологии: учебное пособие / С.П. Торшин, Г.А. Смолина, А.С. Пельтцер. – СПб.: Лань, 2019. - 212 с. - ISBN 978-5-8114-3285-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/111908> (дата обращения: 30.03.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
13. Фокин А.Д. Сельскохозяйственная радиология : учебник для вузов / А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Трошин. – СПб.: Лань, 2011. – 416 с.

Учебное издание

Силаев Андрей Леонидович  
Смольский Евгений Владимирович

***СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
РАДИОЛОГИЯ***

**Учебно-методическое пособие**

Редактор Осипова Е.Н.

---

Подписано к печати 24.02.2022 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,18. Тираж 60 экз. Изд. № 7222.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ