

## **Лабораторная работа № 1. РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ И КОРМОВ**

Радиационный контроль на территории Республики Беларусь осуществляется в целях ограничения и минимизации последствий облучения населения республики от загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами в результате аварии на Чернобыльской АЭС и выбросов АЭС сопредельных государств. Под **радиационным контролем** понимается комплекс административных, организационно-технических, санитарно-гигиенических мероприятий и правовых мер, направленных на снижение воздействия на население и другие категории облучаемых лиц радиационного фактора.

Радиационный контроль, осуществляемый лабораториями и подразделениями Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, – это система мероприятий по контролю радиоактивного загрязнения продуктов питания, сельскохозяйственной продукции и других объектов внешней среды. Радиационный контроль осуществляют:

- *государственная ветеринарная служба* – продукция животноводства, производимая в общественном секторе и фермерских хозяйствах, в том числе реализуемая на экспорт; корма и рационы кормления животных; продукция, реализуемая на рынках;

- *агрохимическая служба* – почва сельхозугодий; продукция растениеводства; торф, применяемый в качестве удобрений;

- *радиологические лаборатории и посты перерабатывающих предприятий* – сырье, поступающее на переработку; готовая продукция.

Контроль радиоактивного загрязнения продуктов питания, сельскохозяйственной продукции и других объектов внешней среды включает следующие стадии: отбор проб; подготовка проб к измерению; определение содержания  $^{137}\text{Cs}$  ( $^{90}\text{Sr}$ ) в пробах; оценка полученных результатов. Все стадии должны выполняться в соответствии со стандартными методиками, утвержденными Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь.

**Цель работы:** освоить методики отбора проб, пробоподготовки и измерения их удельной активности.

## **За д а н и е 1.1. Отбор проб пищевых продуктов, сельскохозяйственного сырья, кормов**

**Общие принципы пробоотбора.** Как правило, анализируемый компонент распределен в окружающей среде неравномерно. Однако на практике исследователю приходится ограничивать количество отбираемых проб. Построение картины распределения на основе ограниченного набора экспериментальных данных является наиболее слабым звеном в анализе. Непредставительный или некорректный пробоотбор сводит на нет дальнейшую последовательность действий, лишает получаемый результат практической ценности. Планируя пробоотбор, необходимо решить следующие основные вопросы:

- какие пробы и где следует отбирать;
- сколько нужно отбирать проб и какого объема.

Дать ответ на эти вопросы можно, руководствуясь следующими соображениями:

- проба должна быть *представительной*, т. е. отражать состав исследуемого компонента окружающей среды;
- пробоотбор и дальнейший анализ объектов взаимосвязаны.

Метрологические характеристики выбранного метода анализа и ожидаемые содержания анализируемого компонента определяют необходимый объем пробы. От того, как планируется анализировать пробу, зависят требования к условиям ее консервирования и хранения.

### **Основные определения:**

партия – это любое количество продукта, однородного по качеству, предназначенного к одновременной сдаче, отгрузке, хранению в одном складе или убранным с одного поля;

точечная проба – это небольшое количество продукта, отобранного из партии в один прием для составления объединенной пробы;

объединенная проба – это совокупность всех точечных проб, отобранных из одной партии;

средняя проба – это проба, выделенная из объединенной пробы и характеризующая радиоактивное загрязнение всей партии продукции.

**Краткие теоретические сведения.** Порядок отбора проб пищевых продуктов включает в себя: выделение однородной по радиационному фактору партии; определение количества средних проб, необходимых для проведения радиационного контроля; отбор точечных проб; составление объединенной пробы и формирование из нее средней, которая поступает на лабораторное исследование.

Однородность партии определяется путем измерения мощности дозы гамма-излучения с помощью дозиметрических приборов, имеющих достаточную чувствительность (нижний предел измерения не более 0,1 мкЗв/ч (10 мкР/ч)). Партия считается однородной, если в разных точках контролируемой партии результаты измерений различаются не более чем на 50 % от средних значений измеренных величин.

Величины точечных проб продуктов и их количество зависят от требуемой величины объединенной пробы. При расфасовке в бутылки, пакеты, пачки и т. п. они рассматриваются как точечные пробы.

Из точечных проб составляют объединенную, помещая их в одну емкость и перемешивая. Масса или объем объединенной пробы должны быть достаточными для формирования средней, но не более ее трехкратного количества. Количество объединенных проб зависит от величины партии.

Отбор проб твердых сыпучих объектов проводят методом квартования, жидких – после тщательного перемешивания.

Документально отбор проб оформляется актом отбора пробы в двух экземплярах и этикеткой к каждой пробе. Отбор проб продуктов питания, сельскохозяйственного сырья и кормов проводится по следующим стандартным методикам:

- отбор проб молока и молочных продуктов – в соответствии с СТБ 1051–98 Радиационный контроль. Отбор проб молока и молочных продуктов. Общие требования;

- отбор проб мяса – в соответствии с СТБ 1050–2008 Радиационный контроль. Отбор проб продукции животноводства. Общие требования;

- отбор проб кормов – в соответствии с СТБ 1056–98 Радиационный контроль. Отбор проб сельскохозяйственного сырья и кормов. Общие требования.

**Материалы и оборудование:** серп, нож, пробоотборники, щупы, пинцеты, совки, ковш, банки с крышками, упаковочные материалы, шпагат, картонные бирки.

### **Выполнение работы**

1. Отберите точечные пробы (вид отбираемых проб указывается преподавателем).

2. Составьте объединенные пробы.

3. Выделите средние пробы.

4. Упакуйте и промаркируйте отобранные пробы.

## Зада н и е 1.2. Измерение объемной (ОА) и удельной (УА) активности проб гамма-радиометром РКГ-АТ1320А

Гамма-радиометр РКГ-АТ1320А относится к стационарным средствам измерения спектрометрического типа и может использоваться для радиоэкологического мониторинга объектов окружающей среды и контроля качества продукции в лабораториях радиационного контроля предприятий агропромышленного комплекса, лесного хозяйства, медицинских учреждений, строительных организаций и службами радиационной безопасности других министерств и ведомств.

В качестве детектора гамма-излучения используется сцинтилляционный блок детектирования с кристаллом NaI (Т1) размером 63×63 мм.

Радиометр предназначен для измерения объемной и удельной активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  в воде, продуктах питания, кормах, почве, строительных материалах, промышленном сырье и других объектах окружающей среды. Измерение производится в сосуде Маринелли емкостью 1 л или в плоских сосудах емкостью 0,5 и 0,1 л.

Накопленная информация о спектре гамма-излучения пробы выводится на жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) и обрабатывается средствами программного обеспечения блоком обработки информации (БОИ).

Питание радиометра осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 (+22; -33) В частотой  $(50 \pm 2)$  Гц с помощью адаптера сетевого (АС).

**Технические характеристики.** Диапазоны измерения ОА (УА) радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  для проб плотностью 1 г/см<sup>3</sup> соответствуют значениям, приведенным в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Диапазоны измерения ОА (УА) радионуклидов

Геометрия измерения (емкость сосуда)	Диапазоны измерений объемной (удельной) активности радионуклидов, Бк/л (Бк/кг)			
	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$
Сосуд Маринелли (1,0 л)	$3,7 - 1 \cdot 10^5$	$50 - 2 \cdot 10^4$	$10 - 1 \cdot 10^4$	$10 - 1 \cdot 10^4$
Плоский сосуд (0,5 л)	$20 - 4 \cdot 10^5$	$200 - 2 \cdot 10^4$	–	–
Сосуд Дента (0,1 л)	$50 - 1 \cdot 10^6$	$500 - 2 \cdot 10$	–	–

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения ОА (УА) радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  не превышают  $\pm 20\%$ .

**Устройство и принцип работы.** Принцип действия радиометра основан на накоплении и хранении амплитудных спектров импульсов

в блоке детектирования гамма-излучения (БД). Амплитуда импульсов, пропорциональная энергии гамма-излучения, преобразуется в цифровой код, который хранится в запоминающем устройстве (ЗУ) БД. Информация из ЗУ в реальном масштабе времени считывается БОИ и после обработки выводится на ЖКИ. АС обеспечивает питание БД и БОИ.

**Конструкция радиометра.** Радиометр представляет собой стационарную конструкцию и построен по блочно-модульному принципу.

Радиометр состоит из следующих частей:

- блока детектирования, размещаемого в блоке защиты (БЗ);
- блока обработки информации, устанавливаемого на БЗ;
- адаптера сетевого.

Конструкция БД (рис. 1.1) состоит из металлических корпусов цилиндрической формы. Корпуса соединяются между собой винтами и резьбовыми соединениями.

В корпусе 2, который одновременно выполняет функцию экрана, расположены фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) 3 и делитель напряжения 4.

В корпусе 5 расположены печатные платы устройства обработки БД, усилителя и преобразователя напряжения, установленные в направляющих, на которых закреплена панель с соединителями для подключения интерфейсного кабеля и АС.

В корпусе 10, являющемся одновременно экраном, закреплён сцинтилляционный детектор.

В конструкции БД используются резиновые уплотнители, обеспечивающие защиту от пыли и света.

Все корпуса имеют гальваническое или лакокрасочное защитное покрытие, допускающее проведение дезактивации спиртом.

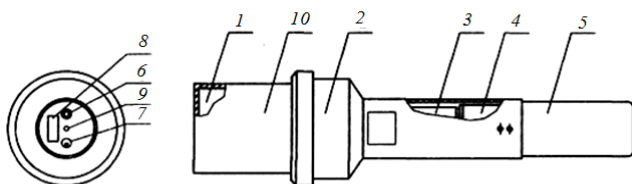


Рис. 1.1. Общий вид БД:

- 1 – детектор; 2 – корпус; 3 – ФЭУ; 4 – делитель; 5 – корпус усилителя;  
6 – соединитель интерфейсного кабеля; 7 – разъем питания;  
8 – этикетка; 9 – пломба; 10 – корпус

Конструкция БОИ (рис. 1.2) состоит из металлического унифицированного корпуса 1, внутри которого располагается печатная плата, и двух крышек 2. На одной из крышек расположены разъемы для подключения питания и БД, на другой – этикетка 3. Для обеспечения пылебрызгозащиты корпус имеет уплотнители 4.

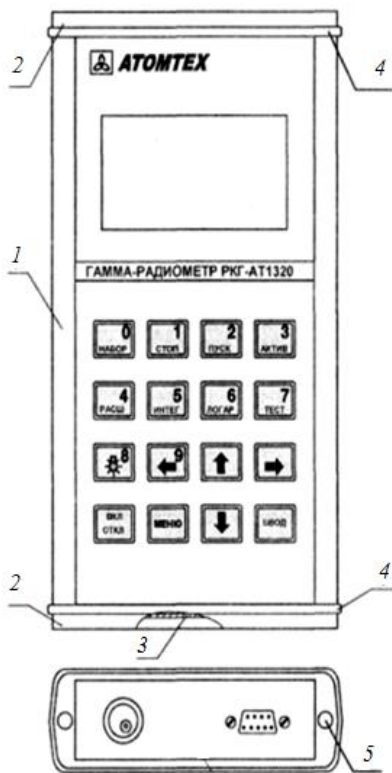


Рис. 1.2. Общий вид БОИ:  
1 – корпус; 2 – крышки; 3 – этикетка;  
4 – уплотнители; 5 – пломба

БЗ (рис. 1.3) имеет стационарное исполнение и состоит из крышки 11, корпуса 12 и трех ножек 8 с опорами 9.

Крышка и корпус выполнены как сварные конструкции из стальных труб и имеют полимерное покрытие. Внутри корпуса и крышки БЗ

размещен свинец в виде отдельных колец. В корпусе БЗ установлен экран 5 из нержавеющей листовой стали, в котором устанавливаются БД 1 и сосуд 7 с пробой.

Сосуд Маринелли (1,0 л) и плоский сосуд (0,5 л) изготовлены из пластмассы. В верхней части внутренней поверхности сосудов выполнены метки в виде кольцевой ступеньки для определения уровня заполнения нормируемого объема.

Верхняя плоскость сосудов заканчивается плоским ободком, который используется для установки сосудов в БЗ и их извлечения из БЗ. В составе радиометров используется также сосуд объемом 0,1 л типа Дента, который в комплект поставки не входит. Допускается использовать в качестве сосуда Дента пластмассовую упаковку для зубного порошка, выпускаемого по ГОСТ 5972–77.

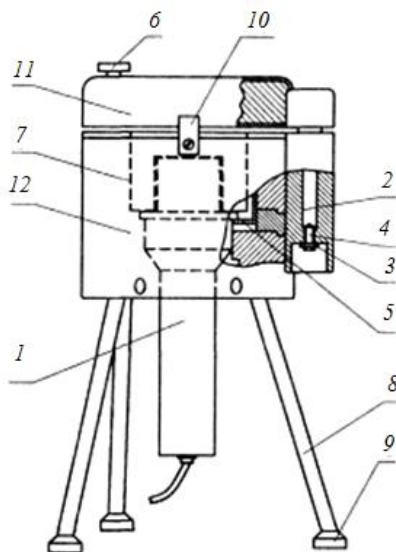


Рис. 1.3. Общий вид БЗ:

- 1 – БД; 2 – ось; 3 – гайка; 4 – винт;
- 5 – экран; 6 – ручка; 7 – сосуд Маринелли;
- 8 – ножка; 9 – опора; 10 – фиксатор крышки;
- 11 – крышка; 12 – корпус

**Меры безопасности.** По способу защиты от поражения электрическим током радиометры относятся к классу II ГОСТ 12.2.091–2002.

В блоке детектирования радиометров имеются электрические цепи с напряжением до 1200 В. **Поэтому проводить подключение блоков допускается только при отключенном питании радиометров.**

При работе с радиометрами обслуживающим персоналом должны выполняться общие правила работы с электрическими установками.

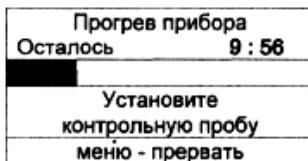
Лица, допущенные к работе, должны иметь соответствующую техническую квалификацию и подготовку, а также уметь своевременно оказать помощь пострадавшему от электрического тока.

Контрольная проба изготовлена на основе калия хлористого галургического (ГОСТ 4568–95), помещенного в герметичный сосуд Маринелли. Работа с данной пробой не требует специальных мер радиационной защиты и контроля.

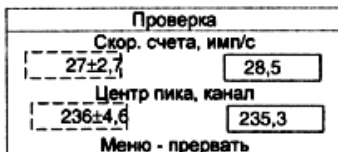
**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320А, контрольная проба КС1, пробы сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, весы лабораторные, сосуд Маринелли.

### Выполнение работы

1. Включите радиометр. Для этого нажмите кнопку **ВКЛ**, на экране на несколько секунд появится надпись «АТОМТЕХ», а затем сообщение:



Прогрев радиометров идет в течение 10 мин. В процессе прогрева установить контрольную пробу и закрыть БЗ. По окончании прогрева автоматически производится проверка сохранности градуировки радиометров. При прохождении проверки на экране высвечиваются нормируемые и текущие значения скорости счета в импульсах в секунду и центра пика в каналах:



Значения, высвечиваемые в окне, выделенном на приведенной выше иллюстрации штриховыми линиями, – нормируемые, индивидуальные для каждого прибора, значения в другом окне – текущие.

Если положение центра пика соответствует нормируемому значению, то появляется сообщение «**Проверка завершена**».

Если положение центра пика не соответствует нормируемому значению, то радиометры автоматически проведут стабилизацию (корректировку напряжения питания ФЭУ, обеспечивающую приведение характеристик радиометров в соответствие с их градуировочными параметрами), затем повторяют проверку, по окончании которой раздастся звуковой сигнал и на ЖКИ появится сообщение «**Проверка завершена**».

*Следует помнить, что неиспользуемая контрольная проба при измерениях и проверках должна находиться от БЗ на расстоянии не менее 2 м.*

2. Выполните оперативный контроль фона. Фоновые спектры, т. е. спектры, регистрируемые радиометрами в отсутствие источника ионизации, могут оказывать существенное влияние на точность измерений, особенно при измерении малых активностей. Уровень фона в общем случае зависит от климатических условий, месторасположения радиометра, внешнего гамма-фона, радиационной чистоты поверхности БД, БЗ и измерительного сосуда.

Измеренные спектры рабочих фонов записываются в память радиометра. Поэтому при неизменных условиях работы фон можно определять не перед каждым измерением, а значительно реже, например, один раз в месяц или перед проведением серии измерений проб заведомо малой активности.

Время набора фоновых спектров при измерении малых активностей должно быть не менее 3 ч. Для удобства работы рекомендуется заранее провести измерение и записать в память фоновые спектры для всех типов сосудов. Кроме того, в памяти радиометра должен храниться контрольный фоновый спектр, измеряемый не реже одного раза в месяц. Ежедневно перед началом измерений рекомендуется проводить оперативный контроль неизменности фона и по результатам проверки принимать решение о необходимости проведения новых измерений фоновых характеристик.

**Измерение фоновых характеристик** производится в приведенной ниже последовательности:

1. Установите в БЗ измерительный сосуд, заполненный дистиллированной водой (если плотность пробы менее  $0,3 \text{ г/см}^3$ , измерение проводится без воды и сосуда).

2. Закройте БЗ.
3. Нажмите кнопку **НАБОР**, при этом на ЖКИ появляется следующее сообщение:

Параметры набора	
Время, с	0
Масса, г	<input type="text" value="0"/>
Геом. Маринелли, 1 л	
Ввод - начать	

Задайте следующие параметры:

- время набора – не менее 10800 с (3 ч);
- масса пробы – в соответствии с массой воды в установленном сосуде (если плотность пробы менее  $0,3 \text{ г/см}^3$ , то задается масса пробы 1 г);
- геометрия измерения – в соответствии с установленным сосудом.

Нажмите кнопку **ВВОД**.

**П р и м е ч а н и е.** Изменение времени измерения, массы пробы и геометрии измерения проводят поочередно в окне редактирования, которое перемещают с помощью кнопок «↑» или «↓». Задают значения массы и времени измерения с помощью соответствующих цифровых кнопок. Стирание ошибочно введенной цифры и выбор геометрии измерения проводят кнопкой «←».

4. После завершения набора запишите измеренный спектр в память радиометра в качестве рабочего фона для соответствующей геометрии измерения. Для этого необходимо нажать кнопку **МЕНЮ**, в режиме «Спек» выбрать функцию «Зап.фон» и нажать кнопку **ВВОД**.

Извлечь сосуд из БЗ.

Аналогично производится измерение рабочих фоновых спектров для всех типов измерительных сосудов, используемых в радиометре.

*Оперативный контроль фона проводится ежедневно перед началом измерений с целью проверки неизменности фона.*

Проверка фона производится сразу после проверки градуировки радиометра. Для этого нужно **извлечь контрольную пробу из БЗ** и нажать кнопку **ВВОД**, при этом на экране появится нормируемое и измеряемое значение скорости счета (имп/с). После окончания контроля (через 3–5 мин) появление сообщения «**Фон в норме**» свидетельствует о неизменности фона. При появлении сообщения «**Фон не в норме**» следует повторить контроль фона, для этого нужно: нажать кнопку **МЕНЮ**, выбрать позицию **КОН.Ф**, затем нажать кнопку **ВВОД**. При повторном появлении сообщения «**Фон не в норме**» необходимо выяснить причины изменения фона. Повышенный фон

может быть связан с радиоактивным загрязнением блока детектора радиометра или с наличием в непосредственной близости от рабочего места радиоактивного источника. В этом случае следует устранить источник радиации (выполнить дезактивацию блока детектора или убрать источник) и повторить контроль фона.

Если изменение фона связано с изменением внешних радиационных условий, необходимо провести новые измерения фоновых характеристик.

Как правило, положительный результат проведения оперативного контроля фона с размещенным в БЗ пустым измерительным сосудом является свидетельством радиационной чистоты сосуда.

3. Измерьте удельную активность проб. Для этого предварительно измерьте рабочий фоновый спектр и подготовьте пробу. Измерительный сосуд должен быть заполнен веществом пробы до отметки или объем пробы должен быть предварительно измерен с погрешностью не более  $\pm 2$  %. Если плотность пробы отлична от  $1 \text{ г/см}^3$ , то необходимо определить массу пробы с погрешностью не более  $\pm 2$  %.

#### **Последовательность измерения.**

1. Поместите сосуд с пробой в БЗ. Закройте БЗ.

2. Перейдите при необходимости в поле спектра (исходное состояние радиометра), нажав кнопку **МЕНЮ**, а затем перейдите в режим набора спектра, нажав кнопку **НАБОР**, и задайте значения продолжительности измерения, массы пробы и геометрии измерения, нажмите кнопку **ВВОД**. Время измерения можно установить приблизительно, так как при необходимости набор спектра может быть продолжен. Если заданное время равно нулю, измерение продолжается до принудительной остановки, осуществляемой нажатием кнопки **СТОП**. Геометрия измерения вводится в соответствии с используемым измерительным сосудом.

При измерении ОА (УА) гамма-излучающих радионуклидов менее  $100 \text{ Бк/л}$  ( $\text{Бк/кг}$ ) для минимизации времени предпочтительнее использовать сосуд Маринелли емкостью  $1,0 \text{ л}$ .

3. После остановки прибора для определения УА радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  нажмите кнопку **АКТИВ** (для определения ОА необходимо повторно нажать кнопку **АКТИВ**).

4. Полученные результаты объемной и удельной активности занесите в табл. 1.2, сделайте заключение о радиологическом качестве измеренной пробы.

Таблица 1.2. Результаты измерений

Проба	Масса или объем пробы	ОА (УА)				Предельно допустимое содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Заключение
		$^{137}\text{Cs}$		$^{40}\text{K}$			
		Бк/кг	Погрешность измерения, Бк/кг	Бк/кг	Погрешность измерения, Бк/кг		

### Задание 1.3. Измерение объемной (ОА) и удельной (УА) активности проб гамма-радиометром РКГ-01

Радиометр предназначен для измерения ОА и УА гамма-излучающих нуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  в пробах почв, донных отложений, продуктах растениеводства и животноводства. Основное назначение – санитарно-гигиенический контроль в стационарных условиях.

**Технические характеристики.** Диапазон измерения УА составляет 18,5–3700 Бк/кг ( $5 \cdot 10^{-10} - 1 \cdot 10^{-6}$  Ки/кг).

Объем измеряемых проб 1,0; 0,5 и 0,1 л.

Основная относительная погрешность в диапазоне измерений не более 35 %.

Радиометр двухканальный. Один канал – цезиевый – настроен на энергию 150–900 кэВ, второй – калиевый – на энергию в диапазоне 900–1600 кэВ.

В радиометре предусмотрены:

- выдача звукового сигнала при времени измерения 300 с;
- автоматическое прекращение измерения при достижении статистической погрешности 15 % с подачей звукового сигнала.

Время установления рабочего режима радиометра не более 30 мин.

Питание радиометра от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Срок службы 8 лет.

**Устройство и принцип работы.** Радиометр состоит из электронного блока и сцинтилляционного детекторного блока, помещенного в свинцовую защиту. Питание блока детектирования осуществляется от блока питания электронного блока.

На передней панели электронного блока расположены 12-разрядный индикатор для отображения информации и кнопочные переключатели: «пуск» – для запуска прибора на измерение; «стоп» – для остановки измерения; «объем» – для ввода в память радиометра сведений об объеме

измеряемой пробы; «ед. изм.» – для ввода в радиометр требования оператора о единицах измерения УА; «0–9» – наборное поле для массы пробы (целое число) в граммах; «В» – для ввода в память прибора информации о массе пробы; «Ф» – для вывода на индикатор УА по  $^{40}\text{K}$  (данная информация отображается только при удерживании кнопки).

Сцинтилляционный детектор представляет собой кристалл сцинтиллятора, оптически связанный с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Попадание гамма-кванта в детектор вызывает электрический импульс, амплитуда которого пропорциональна доле энергии, которую гамма-квант передал детектору. После выделения и разделения импульсов по каналам они поступают в контроллер, входящий в состав электронного блока, обеспечивающий необходимые вычисления с учетом геометрии кристалла, спектрального распределения фотонного ионизирующего излучения, активности радионуклида  $^{40}\text{K}$  в пробе, веса пробы и времени измерения.

Процедура измерения удельной активности проб в общем случае состоит из двух этапов: измерения фона счетчика и измерения активности образца.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-01, пробы сельхозпродукции и продуктов питания, весы лабораторные.

## Выполнение работы

*Следует помнить, что во избежание выхода из строя радиометра запрещается соединять и отсоединять кабели при включенном электронном блоке.*

1. Включите радиометр тумблером «Сеть». Выдержите радиометр во включенном состоянии 10–15 мин. Обратите внимание на контрольный индикатор «Режим», он должен мигать.

2. Измерьте радиационный фон детектора. Для этого чистый пустой сосуд Маринелли поместите в блок детектирования, закройте его и запустите прибор на измерение кнопкой ПУСК. Измерение фона производится по двум каналам одновременно.

Количество импульсов, регистрируемых детектором в единицу времени в отсутствие источников ионизирующих излучений, называется **радиационным фоном детектора**. Он обусловлен космическими лучами (свинцовый домик задерживает только часть космических излучений), ионизирующим излучением природных радионуклидов, которые в ничтожно малых количествах присутствуют в любом веществе и в том числе материалах счетчиков и защиты и самопроизвольными

разрядами в блоках детектирования. При измерении активности проб радиометр регистрирует импульсы как создаваемые попадающим в детектор от пробы излучением, так и фоновые. Поэтому перед измерением проб обязательно измеряется радиационный фон детектора, значение которого учитывается при определении активности пробы. От величины радиационного фона зависит чувствительность счетчика: чем ниже фон, тем выше чувствительность.

3. Через 10 мин нажмите кнопку **СТОП** (измерение фона заканчивается или при достижении заданной точности, равной 3 %, или после нажатия кнопки **СТОП**). Измеренные значения записываются в долговременную память прибора и в дальнейшем учитываются при измерении удельной активности проб, т. е. нет необходимости измерять фон перед измерением каждой пробы. Фон автоматически вычитается при измерении активности пробы.

4. Подготовьте пробу к измерению. Для этого в сосуд Маринелли поместите измеряемую пробу и взвесьте. Кнопкой **ОБЪЕМ** добейтесь свечения диода, соответствующего объему измеряемой пробы. На цифровом наборном поле наберите число, соответствующее массе пробы, и нажмите кнопку **В**.

Следует учитывать, что при измерении проб объемом 1 л диапазон измерения соответствует указанному в технических характеристиках прибора – 18,5–3700 Бк/кг, при измерении проб объемом 0,5 л – 37–3700 Бк/кг, т. е. чем меньше объем проб, тем выше нижний предел измерения. В кювете объемом 0,1 л можно измерять только пробы с высокой УА.

5. Измерьте УА пробы. Для этого нажмите кнопку **ПУСК**. На индикаторе информации слева высвечиваются изменяющиеся значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в пробе (Бк/кг), а справа – абсолютная статистическая погрешность измерения (Бк/кг). Измерение заканчивается или автоматически при достижении заданной погрешности, или после нажатия кнопки **СТОП**. Остановка прибора сопровождается звуковым сигналом.

Для перевода результата измерения в кюри на килограмм нажмите кнопку **Ед. изм.**

Для вывода на индикатор результатов измерения УА пробы по  $^{40}\text{K}$  нажмите кнопку **Ф**.

Показания прибора запишите в отчет. Полученный результат сравните с предельно допустимым содержанием  $^{137}\text{Cs}$  для данной пробы (согласно нормативным документам – прил. 2 и 3) и сделайте заключение о пригодности пробы для использования.

## Контрольные вопросы

1. Какие объекты подлежат радиационному контролю?
2. Чем следует руководствоваться при отборе проб для радиационного контроля?
3. Назовите основные стандарты Республики Беларусь (СТБ) в области радиационного контроля.
4. Какие этапы включает в себя методика отбора проб для радиационного контроля?
5. Что такое точечная проба и как она отбирается?
6. Как формируется объединенная проба и как она отбирается?
7. Как формируется средняя проба?
8. Что такое партия продукта и как определяется ее однородность?
9. В каком случае партия считается однородной?
10. Что собой представляет гамма-излучение?
11. Чем отличаются гамма-кванты разных радионуклидов?
12. Из каких блоков состоит гамма-радиометр?
13. Из каких этапов состоит процедура измерения удельной активности проб?
14. Какую информацию о пробе необходимо ввести в память гамма-радиометра перед выполнением измерения?
15. Какая информация высвечивается на индикаторе гамма-радиометра по окончании измерения?
16. Как вывести на индикатор информацию об удельной активности  $^{40}\text{K}$  в пробе?
17. Как сделать вывод о пригодности к использованию контролируемых продуктов питания, сельскохозяйственного сырья и кормов?
18. Для каких целей используется гамма-радиометр РКГ-АТ1320А?
19. Каковы диапазоны измерения ОА (УА)  $^{137}\text{Cs}$  у гамма-радиометров РКГ-АТ1320А и РКГ-01 «Алиот»?

## Лабораторная работа № 2. ЕСТЕСТВЕННАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

Почва – сложная полидисперсная система, в составе которой выделяются следующие компоненты: обломки минералов горных пород; глинистые минералы; грубый гумус; тонкий гумус; пленки-гели, покрывающие почвенные частицы и состоящие из гидроксидов железа, марганца и алюминия; кремниевые кислоты; органические вещества;

различные соли; почвенные растворы; почвенные газы; почвенная фауна и микроорганизмы; живые корни растений. Естественные и искусственные (техногенные) радионуклиды содержатся во всех компонентах почвы в разном количестве и в разном соотношении.

### **За д а н и е 2.1. Определение суммарной бета-активности почвы**

Естественная радиоактивность почв – это результат длительных процессов перераспределения радионуклидов между материнской породой и почвой, растительностью и почвой. Естественная радиоактивность почвы обусловлена наличием в ней естественных радионуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и др. Основной вклад в радиоактивность вносит  $^{40}\text{K}$  (в среднем 66 % при максимуме 80 %), содержание которого составляет 3 % от всех радионуклидов. Вклад  $^{232}\text{Th}$  в среднем 5 % при содержании 18,3 %, а  $^{238}\text{U}$  – 2 % при содержании 2,5 %. В почвах Европы средняя массовая концентрация  $^{238}\text{U}$  составляет  $1,5 \cdot 10^{-4}\%$ ,  $^{232}\text{Th}$  –  $6,5 \cdot 10^{-4}\%$  и  $^{40}\text{K}$  – 1,2 %. Наименьшее содержание естественных радионуклидов в почве в европейской части на севере, а максимальное – в южной части, т. е. ниже  $54^\circ$  северной широты, где сформировались черноземы и каштановые почвы. В Республике Беларусь максимальное содержание в почве  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в северной части, где преобладают дерново-подзолистые суглинистые почвы, развивающиеся на кислых магматических породах (гранитах). В южной части преобладают легкие дерново-подзолистые (песчаные и супесчаные) и торфяные почвы, которые сформировались на известняковых отложениях, поэтому содержание естественных радионуклидов в них значительно ниже, чем в почвах северных регионов.

Естественная радиоактивность почв зависит от радиоактивности материнских (почвообразующих) пород, потому что минералы и частицы породы входят в скелетную часть и минеральные фракции почвы. Радиоактивность почвы значительно превышает радиоактивность материнской породы. Среди осадочных пород наиболее радиоактивны глины, менее активны известняки. Из вулканических пород более радиоактивны граниты, менее активны базальты. Поэтому почвы, развивающиеся на гранитах, имеют более высокую радиоактивность, чем почвы, сформированные на известняках. На радиоактивность почв большое влияние оказывает естественное и улучшенное плодородие почв. Установлено, что с увеличением плодородия почвы возрастает ее радиоактивность за счет повышения содержания в почве  $^{40}\text{K}$  при вне-

сении минеральных удобрений. Максимальная естественная радиоактивность у черноземов и красноземов. Среди дерново-подзолистых почв наименьшая естественная радиоактивность у песчаных и супесчаных почв, имеющих низкое содержание глинистых минералов и  $^{40}\text{K}$ .

Загрязнение почвы техногенными радионуклидами в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС произошло крайне неравномерно. Так, загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  произошло на территории всей республики, но при этом меньше пострадала северная часть республики и значительно больше южная. Загрязнение почвы  $^{90}\text{Sr}$  имеет локальный характер и регистрируется в отдельных регионах Гомельской и Могилевской областей.

**Цель работы:** определить суммарную бета-активность различных типов почв Республики Беларусь.

**Материалы и оборудование:** бета-радиометр (КРВП-3АБ), пробы различных типов почв.

### Выполнение работы

1. Подготовьте радиометр к работе (см. работу № 3, пп. 1–5).
2. Поочередно помещая пробы почвы в измерительную кювету, измерьте число импульсов ( $n_{i+f}$ ) от каждой за 5 мин ( $i$  – номер пробы).  
Рассчитайте скорость счета от пробы почвы с фоном (имп/мин):

$$N_{i+f} = \frac{n_{i+f}}{t}$$

и скорость счета от пробы почвы без фона:  $N_i = N_{i+f} - N_f$ . Результаты измерений занесите в отчет (табл. 7.1).

3. Отложите на градуировочном графике (см. прил. 1) на оси абсцисс значение скорости счета от пробы почвы без фона ( $N_i$ ), восстановите перпендикуляр из этой точки до пересечения с наклонной линией на графике (прямой метод) и определите градуировочную объемную активность ( $A_{\text{гр}}$ ) в кюри на литр.

4. Рассчитайте объемную активность пробы вещества:

$$A_{\text{об}} = A_{\text{гр}} \cdot 2.$$

Коэффициент 2 учитывает различие энергетического спектра эталона и измеряемых радионуклидов, находящихся в исследуемой пробе вещества.

5. Переведите кюри на литр в беккерель на литр с учетом того, что  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ . Результаты измерений и расчетов занесите в отчет (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Суммарная бета-активность почвы

Тип почвы	Скорость счета, имп/мин			Удельная активность почвы		
	$N_{i+f}$	$N_f$	$N_i$	$A_{гр}$	Ки/кг	Бк/кг
Дерново-подзолистая суглинистая						
Дерново-подзолистая супесчаная						
Дерново-подзолистая песчаная						
Торфяно-болотная						

6. Сделайте выводы о том, какие почвы имеют максимальную и минимальную удельную активность.

### За д а н и е 2.2. Определение загрязненности почвы сельхозугодий $^{137}\text{Cs}$

Загрязнение почвы радионуклидами характеризуется поверхностной активностью ( $A_s$ ), которая представляет собой активность, отнесенную к единице площади поверхности:

$$A_s = \frac{A}{S},$$

где  $S$  – площадь поверхности,  $\text{м}^2$  ( $\text{км}^2$ ).

Данная величина встречается и под другими названиями – плотность загрязнения поверхности радионуклидами или поверхностная концентрация. Основная единица измерения – килобеккерель на квадратный метр ( $\text{кБк}/\text{м}^2$ ), внесистемная – кюри на квадратный метр ( $\text{Ки}/\text{м}^2$ ).

Определение запаса  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах окультуренных сельхозугодий проводится в соответствии с Методикой крупномасштабного агрохимического и радиологического обследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь. В почвах естественных сельхозугодий указанная работа проводится по методике Гомельской ОПИСХ. При радиологическом контроле естественных лугов и пастбищ проводится раздельное определение содержания радионуклидов в дернине и находящейся ниже нее почве.

Почвенные образцы на сельскохозяйственных угодьях рекомендуются отбирать до начала весенних полевых работ и непосредственно перед уборкой урожая. При плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  до  $11,1 \text{ кБк}/\text{м}^2$

(0,3 Ки/км<sup>2</sup>) отбирается пять смешанных образцов на одно сельскохозяйственное предприятие, при плотности 11,1–37,0 кБк/м<sup>2</sup> (0,3–1 Ки/км<sup>2</sup>) – один смешанный образец на элементарный участок (отдельно обрабатываемый участок поля, занятый одной культурой, с типичными для данного района типами почв, элементами рельефа, сельскохозяйственного пользования), при плотности 37,0–111,0 кБк/м<sup>2</sup> (1–3 Ки/км<sup>2</sup>) – один смешанный образец на 100 га площади, свыше 111,0 кБк/м<sup>2</sup> (3 Ки/км<sup>2</sup>) – один смешанный образец на 50 га площади.

**Отбор проб на пахотных землях.** Перед отбором проб проводится измерение мощности эквивалентной дозы дозиметром типа ДРГ в 5–6 точках, равномерно распределенных по площади элементарного участка на высоте 3–4 см над поверхностью почвы. На элементарном участке отбирается десять индивидуальных проб почвы (в некоторых случаях и больше) из точек, равномерно распределенных по площади участка с наиболее часто встречаемыми значениями мощности дозы. Отбор проб проводят с помощью стандартного металлического кольца диаметром 140 мм и высотой 50 мм, осторожно забивая его в почву молотком до тех пор, пока верхняя кромка кольца не окажется на одном уровне с поверхностью почвы. Кольцо с почвой подкапывают лопатой, подрезают по нижней кромке пробоотборника и помещают в полиэтиленовый мешок или пленку. При отборе проб буром число уколов будет зависеть от диаметра его рабочей части. После смешивания индивидуальных проб и получения объединенной пробы из нее методом квартования составляют пробу почвы массой не менее 2 кг. Такая проба помещается в полиэтиленовый мешок, который кладут во второй такой же мешок и заворачивают в плотную бумагу. Между пакетами вкладывается паспорт с номером пробы и указанием места отбора пробы.

**На непахотных сельскохозяйственных угодьях (естественные луга и пастбища)** по периметру обследуемого участка и его двум диагоналям на высоте 1 м и 3–4 см над поверхностью почвы проводится измерение мощности эквивалентной дозы дозиметром. При выборе места отбора пробы учитываются: наличие травянистой растительности, отсутствие смыва или намыва почвы в месте отбора почвы, однородность, открытость и ровность поверхности, расстояние от дорог, деревьев и строений. На обследуемом участке выбирают пять мест с наиболее часто наблюдаемыми значениями мощности дозы. Одно из них должно быть близко к центру участка, а остальные четыре – на периферии участка. Из этих мест проводится отбор проб с помощью

стандартного металлического кольца (или бура), их последующая упаковка и маркировка – аналогично вышеприведенной методике.

**Цель работы:** определить плотность загрязнения сельхозугодий  $^{137}\text{Cs}$ .

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320А (РКГ-01); пробы почвы, отобранные в полях севооборотов на территории радиоактивного загрязнения и в Горьком районе; весы лабораторные; карта радиационного загрязнения территории Могилевской и Гомельской областей.

### Выполнение работы

1. Подготовьте гамма-радиометр к работе.
2. Определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в пробах почвы ( $A_{\text{уд. почвы}}$ ).
3. Определите плотность почвенных проб.
4. Рассчитайте поверхностную активность почвы ( $A_s$ ).

#### Пример расчета.

Объем  $1 \text{ м}^2$  пахотного слоя почвы  $V = 20 \cdot 100 \cdot 100 = 2 \cdot 10^5 \text{ см}$ . При плотности почвы  $\rho = 1,3 \text{ г/см}^3$  масса этой почвы  $M = \rho \cdot V = 1,3 \cdot 2 \cdot 10^5 = 2,6 \cdot 10^5 \text{ г} = 260 \text{ кг}$ . Тогда поверхностная активность почвы  $A_s = A_{\text{уд. почвы}} \cdot M$ .

### За д а н и е 2.3. Изучение вертикального распределения $^{137}\text{Cs}$ в почве

Искусственные радионуклиды поступают из атмосферы в почву с атмосферными выпадениями и под действием гравитационных сил в составе аэрозолей и частиц в растворимом и нерастворимом состоянии. В почве радионуклиды включаются в два основных процесса – взаимодействие с почвенно-поглощающим комплексом и вертикальная миграция по профилю почвы. Их поведение в почве обусловлено следующими взаимобратимыми процессами: сорбция ↔ десорбция, осаждение ↔ растворение, коагуляция ↔ пептизация. Среди этих процессов наибольшее влияние на поведение радионуклидов в почве оказывает сорбция. При миграции радионуклидов сорбция имеет двойное значение: во-первых, закрепление радионуклидов в корнеобитаемом слое почвы способствует длительному поступлению их в растения; во-вторых, поглощение радионуклидов твердой фракции почвы снижает их доступность для растений и интенсивность их миграции вниз по профилю почвы.

Вертикальная миграция – это совокупность процессов, вызывающих перераспределение радионуклидов вглубь по профилю почвы. Перемещение радионуклидов вниз по профилю почвы изменяет их распределение в корнеобитаемом слое, приводит к снижению мощности дозы гамма-излучения над поверхностью почвы и к уменьшению интенсивности выдувания ветром и вымывания водой, а также может создавать возможность загрязнения грунтовых вод. Интенсивность миграции зависит от многих факторов, среди которых наиболее значимы свойства почвы и геологические условия, физико-химические свойства радионуклидов, вид биоценоза и интенсивность его обновления.

Вертикальная миграция радионуклидов осуществляется при следующих процессах: механический перенос на частицах почвы, диффузия свободных и адсорбированных ионов, конвективный перенос с током воды, перенос на коллоидных частицах почвы, перенос по корневым системам растений. Эти процессы неравнозначны, среди них наиболее значимы конвекция и диффузия.

Конвекция – это перенос радионуклидов с восходящими и нисходящими потоками жидкости или пара. Конвекция приводит к перемещению и увеличению концентрации радионуклидов в нижележащих слоях по профилю почвы.

Диффузия – самопроизвольное выравнивание концентрации радионуклидов при соприкосновении их с частицами почвы. Диффузия приводит к расширению зоны распределения радионуклидов при одновременном уменьшении максимальной концентрации в местах их скопления. Конвекция и диффузия тесно связаны с сорбцией радионуклидов. Известно, что чем прочнее сорбция, тем слабее эти процессы. Конвекция и диффузия характерны для водорастворимой и частично для обменной форм нахождения радионуклидов в почве. Механический перенос происходит с током воды и пыли по трещинам и разломам почвы, а также в результате деятельности человека при обработке почвы и в результате роющей деятельности почвенной фауны. Механический перенос характерен для всех форм радионуклидов. С коллоидными частицами переносятся все формы радионуклидов, включая необменную и фиксированную.

Установлено, что в почвах одного типа разные радионуклиды имеют разную интенсивность миграции и соответственно разные коэффициенты миграции. Коэффициент миграции  $^{137}\text{Cs}$  на 1–2 порядка ниже, чем  $^{90}\text{Sr}$ . Различие в интенсивности миграции этих двух радио-

нуклидов объясняется различными формами нахождения их в почве. На дерново-подзолистой почве коэффициент миграции  $^{137}\text{Cs}$  составляет  $5,4 \cdot 10^{-10} - 5,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$ . Миграция радионуклидов по профилю почвы происходит очень медленно.

Наиболее интенсивно миграция радионуклидов происходит на дерново-глеевых, дерново-торфянисто-глеевых и торфяно-болотных почвах, которые характеризуются высокой влажностью, низким содержанием глинистых минералов, высокой кислотностью почвенного раствора и высоким содержанием органического вещества. Высокая интенсивность миграции радионуклидов характерна также для почв легкого гранулометрического состава, т. е. песчаных и супесчаных почв и осушенных торфяников.

Для исследования процесса вертикальной миграции радионуклидов необходимо отбирать тонкие слои почвы. Для этого используют специальное приспособление – пробоотборник. Оно представляет собой трехсторонний лоток, срезанный с двух сторон. Приспособление изготовлено из единой стальной полосы толщиной 0,5 см, которая изогнута в двух местах под прямым углом так, что образуется прямоугольный лоток сечением  $150 \text{ см}^2$ . Продольные края отогнутых стенок заточены. На обеих стенках лотка, имеющих заостренные кромки, сделаны параллельные прорезы – десять прорезей, начиная от верхнего среза, с шагом в 1 см, одна через 2 см, одна через 3 см и две с шагом 5 см. Общая длина лотка 25 см (допустимы другие размеры данного приспособления).

Процедура отбора проб почвы с помощью описанного пробоотборника следующая: стенка почвенного разреза или прикопки выравнивается перпендикулярно к поверхности почвы (проверка отвесом), зачищается острой лопатой. Пробоотборник прикладывается к вертикальной стенке разреза так, чтобы его верхний срез совпал с поверхностью почвы, а режущие кромки плотно крепились к стенке разреза. Пробоотборник вдавливают в почву до прикосновения внутренней стенки пробоотборника к вертикальной плоскости почвенного разреза. Отбор проб почвы начинают с более чистых слоев с нужной глубины. Для этого на вертикальной стенке почвенного разреза ниже установленного пробоотборника линейкой делают разметку по 5 или 10 см до требуемой глубины. С помощью широкого ножа и острой лопаты делается аккуратный подрез под нижней отметкой и подкоп, который больше, чем сечение пробоотборника. В подкоп подставляется ковш, в который с помощью острого ножа и лопатки размером  $10 \times 15 \text{ см}$  отби-

рают пробы почвы толщиной 5 или 10 см и площадью 150 см<sup>2</sup> до нижнего края установленного пробоотборника. Затем пробоотборник извлекают из стены почвенного разреза и, используя имеющиеся разрезы, почву режут на слои соответствующего размера и отбирают пробы, начиная со слоев 5 см.

Упаковка проб производится в два полиэтиленовых пакета. На каждую пробу заполняется паспорт по следующей форме: число, месяц, год, область, район, населенный пункт, номер репера, глубина отбора пробы (см), мощность дозы (мЗв/ч) на высоте 1 м, мощность дозы (мЗв/ч) на высоте 0,1 м, организация, Ф. И. О. проводившего отбор. Паспорт пробы помещается в упаковке между пакетами в развернутом виде лицевой стороной вверх.

Для определения содержания <sup>137</sup>Cs в образцах почвы их высушивают, удаляют различные примеси, просеивают через сито.

**Цель работы:** изучить распределение <sup>137</sup>Cs и <sup>40</sup>K по вертикальному профилю почвы естественного лугового фитоценоза.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01); пробы почвы, отобранные через 1 см на естественном луговом фитоценозе; весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Подготовьте гамма-радиометр к работе.
2. Определите содержание <sup>137</sup>Cs и <sup>40</sup>K в пробах почвы. Результаты занесите в отчет о работе (табл. 2.2).
3. Рассчитайте процентное содержание <sup>137</sup>Cs и <sup>40</sup>K в дернине и в каждом слое почвы.

Таблица 2.2. Вертикальная миграция <sup>137</sup>Cs и <sup>40</sup>K в естественном луговом фитоценозе, сформированном на дерново-подзолистой суглинистой почве

Проба	Содержание <sup>137</sup> Cs		Содержание <sup>40</sup> K	
	Бк/кг	%	Бк/кг	%
Дернина (0–10 см)				
Почвенный слой, см:				
0–1				
1–2				
...				
29–30				
Итого...		100		100

4. Постройте диаграмму распределения <sup>137</sup>Cs и <sup>40</sup>K по профилю

почвы.

5. По полученным результатам сделайте выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что входит в состав почвы?
2. Какие естественные радионуклиды содержатся в почве?
3. Какие техногенные радионуклиды в настоящее время имеются в почве?
4. Какой процентный вклад вносит  $^{40}\text{K}$  в естественную радиоактивность почвы?
5. От каких факторов зависит естественная радиоактивность почвы?
6. В каких регионах Республики Беларусь самая высокая и самая низкая естественная радиоактивность почвы? Чем это объясняется?
  
7. Как влияет состав материнской породы на естественную радиоактивность почвы?
8. Как плодородие почвы влияет на естественную радиоактивность почвы?
9. В каких почвах отмечается максимальное содержание естественных радионуклидов?
10. Для каких дерново-подзолистых почв характерна низкая естественная радиоактивность и с чем это связано?
11. Какими путями поступают в почву искусственные радионуклиды?
12. В каких формах радионуклиды поступают из атмосферы в почву?
13. В какие процессы включаются радионуклиды в почве?
14. Что обозначает термин «вертикальная миграция»?
15. Какое значение при вертикальной миграции радионуклидов в почве имеет сорбция?
16. Какие факторы оказывают влияние на вертикальную миграцию радионуклидов?
17. Назовите основные процессы миграции радионуклидов по профилю почвы. Какие из них наиболее значимы?
18. Что такое диффузия?
19. Что такое конвекция?
20. Какие формы радионуклидов мигрируют по механизмам диффузии и конвекции?
21. Какое влияние на диффузию и конвекцию оказывает сорбция?

22. Какой радионуклид,  $^{137}\text{Cs}$  или  $^{90}\text{Sr}$ , мигрирует интенсивнее по профилю почвы? Чем это объясняется?

23. На каких почвах происходит интенсивная миграция  $^{137}\text{Cs}$ ? С чем это связано?

24. Где и почему основная масса радионуклидов сосредоточена на почвах естественных луговых ценозов?

25. Как отбираются пробы почвы для изучения вертикальной миграции радионуклидов?

26. На какой глубине сосредоточена основная масса  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  в пахотных землях?

27. Чем обусловлено высокое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в дернине?

### **Лабораторная работа № 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

Одной из важнейших задач сельскохозяйственной радиологии является прогнозирование поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры в конкретных условиях загрязнения почв. Это позволяет разрабатывать оптимальную структуру посевных площадей, планировать размещение культур в полях севооборота в зависимости от плотности радиоактивного загрязнения почв, проводить защитные мероприятия по снижению уровня загрязнения сельскохозяйственной продукции. По прогнозируемым показателям возможно также рациональное использование получаемой продукции (на производственные цели, фураж, промышленную переработку и др.).

В производственных условиях для прогноза используются усредненные значения коэффициентов перехода радионуклидов ( $K_n$ ) из почвы в урожай, дифференцированные в зависимости от типов и разновидностей почв, культуры, содержания подвижного калия в почве и ее кислотности, а также результаты агрохимического и радиологического обследования почв, представленные в виде агрохимических паспортов полей и совмещенных картограмм загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Справочные значения коэффициентов перехода приведены в приложениях Рекомендаций по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 гг. (Минск, 2012). Значения  $K_n$  получены путем обработки результатов многолетних полевых опытов, а также анализов растительных и почвенных образцов, взятых на производственных

посевах по единой методике.

Установлено, что при выращивании сельскохозяйственных культур на почвах одного и того же типа, содержащих одинаковое количество обменного кальция и обменных оснований в почвенном поглощающем комплексе (ППК), в зависимости от погодных условий и агротехники накопление радионуклидов может варьировать в широких пределах – от 1,5 до 5 раз. Поэтому прогноз загрязнения различной сельскохозяйственной продукции носит весьма ориентировочный характер. Однако он позволяет заранее спланировать различные защитные мероприятия для обеспечения уменьшения перехода радионуклидов в продукцию и наметить пути использования загрязненной продукции при обнаружении в ней содержания радионуклидов выше допустимых норм.

Из всех попавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС в биосферу радионуклидов наибольшую биологическую опасность представляют долгоживущие изотопы  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , имеющие периоды полураспада около тридцати лет и активно включающиеся в процессы биологической миграции. Это обусловлено тем, что для питания растений необходимы следующие основные макроэлементы: азот, фосфор, калий и кальций. Так как цезий и калий находятся в одной группе периодической таблицы (1-й), то цезий обладает похожими с калием химическими свойствами, что является причиной его поступления из почвы в растения. Аналогичная закономерность характерна для стронция и кальция, которые находятся во 2-й группе. Остальные радионуклиды имеют короткий период полураспада или практически не участвуют в процессах минерального обмена биологических объектов. Поэтому прогнозирование производится только по  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

**Цель работы:** освоить методики прогнозирования радиационного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растениеводческой продукции.

### **За д а н и е 3.1. Определение параметров накопления $^{137}\text{Cs}$ сельскохозяйственными культурами**

Для количественной характеристики выноса радионуклидов растениями из почвы (субстрата) используются коэффициенты накопления ( $K_n$ ) и коэффициенты перехода (пропорциональности) ( $K_p$ ).

Коэффициенты накопления ( $K_n$ ) представляют собой отношение удельной активности (содержания) радионуклида в единице растительной массы (продукции растениеводства) ( $A_{\text{уд. раст.}}$ , Бк/кг или Ки/кг) к поверхностной активности (содержанию) радионуклида в почве ( $A_{\text{уд. почвы}}$ , Бк/кг или Ки/кг соответственно):

$$K_n = \frac{A_{\text{уд. раст}}}{A_{\text{уд. почвы}}}.$$

Коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными растениями изменяются от 0,01 до 1. Для  $^{90}\text{Sr}$  значения  $K_n$  в среднем в 5–10 раз выше.

Коэффициенты перехода (пропорциональности)  $K_n$  – это отношение удельной активности (содержания) радионуклида в единице растительной массы ( $A_{\text{уд. раст}}$ , Бк/кг, Ки/кг) к поверхностной активности почвы ( $A_s$ , кБк/м<sup>2</sup>, Ки/км<sup>2</sup>):

$$K_n = \frac{A_{\text{уд. раст}}}{A_s}.$$

Иными словами,  $K_n$  – это уровень загрязнения 1 кг продукции (Бк/кг или нКи/кг) при плотности загрязнения почвы 1 кБк/м<sup>2</sup> (Ки/км<sup>2</sup>). В настоящее время для прогноза радиоактивного загрязнения продукции растениеводства используются, как правило, значения коэффициентов перехода.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), сопряженные пробы растениеводческой продукции и почвы, весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Подготовьте гамма-радиометр к работе.
2. Определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в растительных пробах ( $A_{\text{уд. раст}}$ ) и сопряженных пробах почвы ( $A_{\text{уд. почвы}}$ ). Результаты занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Результаты определения параметров накопления  $^{137}\text{Cs}$  сельскохозяйственными культурами

Культура	Тип почвы	Содержание обменного калия в почве, мг/кг	$A_{\text{уд. раст}}$ , Бк/кг (Ки/кг)	$A_{\text{уд. почвы}}$ , Бк/кг (Ки/кг)	$K_n$	$A_s$ , кБк/м <sup>2</sup> (Ки/км <sup>2</sup> )	$K_n$

3. Рассчитайте коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$ .

4. Рассчитайте поверхностную активность почвы ( $A_s$ ). Для расчета необходимо знать плотность почвы ( $\rho$ ) и ее удельную активность ( $A_{\text{уд. почвы}}$ ).

**Пример расчета.** Объем  $1 \text{ м}^2$  пахотного слоя почвы  $V = 20 \cdot 100 \cdot 100 = 2 \cdot 10^5 \text{ см}$ . При плотности почвы  $\rho = 1,3 \text{ г/см}^3$  масса этой почвы  $M = \rho \cdot V = 1,3 \cdot 2 \cdot 10^5 = 2,6 \cdot 10^5 \text{ г} = 260 \text{ кг}$ .

Тогда поверхностная активность почвы  $A_s = A_{\text{уд. почвы}} \cdot M$ .

5. Рассчитайте коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$ .

6. Сравните полученные значения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  со справочными (прил. 4 и 5).

### **З а д а н и е 3.2. Прогноз поступления радионуклидов в сельскохозяйственные культуры**

Для прогнозирования уровня загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  основной и побочной продукции растениеводства необходимо использовать справочные значения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию растениеводства (прил. 4–7). Значения  $K_p$  характеризуют среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (в Бк/кг или нКи/кг) в урожае сельскохозяйственных культур при плотности загрязнения почвы  $1 \text{ кБк/м}^2$  или  $1 \text{ Ки/км}^2$  соответственно. При более высокой плотности загрязнения почвы этот показатель умножается на величину плотности загрязнения почвы ( $\text{кБк/м}^2$  или  $\text{Ки/км}^2$ ):  $A_{\text{уд. раст}} = K_p \cdot A_s$ . Полученный результат будет соответствовать уровню загрязнения урожая, выращенного на данном поле без проведения дополнительных мероприятий по снижению перехода радионуклидов из почвы в растения.

Прогнозирование основывается на результатах последнего тура агрохимического и радиологического обследования почв, которые в хозяйствах представлены в виде агрохимического паспорта полей и картограмм плотности загрязнения полей  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Кроме плотности загрязнения учитываются тип и разновидность почвы, гранулометрический состав, степень кислотности, обеспеченность обменным калием и культура, для которой составляется прогноз.

Неопределенность (коэффициент вариации для 95%-ной меры надежности) прогноза загрязнения растениеводческой продукции  $^{137}\text{Cs}$  составляет около 50 %, а  $^{90}\text{Sr}$  – около 70 %.

**Материалы и оборудование:** справочные значения коэффициентов перехода, Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пищевых продуктах и питьевой воде, кальку-

лятор.

### Выполнение работы

1. Определите степень загрязнения радионуклидами сельскохозяйственной продукции в соответствии с данными полученного варианта (табл. 3.2) и используя справочный материал (см. прил. 4–7).

2. Пользуясь нормативными документами (см. прил. 2 и 3), сделайте вывод о том, для каких целей может использоваться данная продукция.

Таблица 3.2. Исходные данные

Номер варианта	Тип почвы	Культуры	Продукция	Содержание обменного калия, мг/кг почвы	pH КС1	Плотность загрязнения почвы, кБк/м <sup>2</sup>	
						<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Дерново-подзолистая супесчаная	Клевер	Сено	160	5,8	550,0	74,0
2	Дерново-подзолистая супесчаная	Многолетние злаковые травы	Сено	132	5,3	451,4	18,5
3	Дерново-подзолистая суглинистая	Картофель	Клубни	258	6,2	555,0	73,0
4	Дерново-подзолистая супесчаная	Картофель	Клубни	278	6,2	370,0	70,5
5	Дерново-подзолистая песчаная	Озимая рожь	Зерно	310	5,9	580,9	37,0
6	Дерново-подзолистая песчаная	Ячмень	Зерно	110	5,1	580,5	37,0
7	Дерново-подзолистая песчаная	Ячмень	Солома	110	5,1	580,9	37,0
8	Дерново-подзолистая супесчаная	Многолетние злаковые травы	Зеленая масса	212	5,8	555,0	11,1
9	Дерново-подзолистая песчаная	Кукуруза	Силос	375	5,4	566,1	70,0
10	Дерново-подзолистая	Ячмень	Зерно (фураж)	210	5,0	580,9	35,0

	суглинистая						
11	Дерново-подзолистая супесчаная	Овес	Зерно (фураж)	225	6,2	388,5	64,0
12	Дерново-подзолистая песчаная	Морковь	Корнеплоды	380	5,5	196,1	74,9
13	Дерново-подзолистая суглинистая	Горох	Зеленая масса	216	5,8	451,4	18,5
14	Дерново-подзолистая суглинистая	Озимая пшеница	Зерно	320	5,2	111,0	11,1

Продолжение табл. 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8
15	Дерново-подзолистая супесчаная	Свекла	Корнеплоды	341	5,8	551,0	11,9
16	Дерново-подзолистая песчаная	Озимая рожь	Зерно	175	5,4	196,1	71,9
17	Дерново-подзолистая песчаная	Вика	Зерно	175	5,3	196,1	74,0
18	Дерново-подзолистая супесчаная	Горох	Зеленая масса	168	6,0	451,4	18,5
19	Дерново-подзолистая суглинистая	Овес	Солома	175	5,4	196,1	72,5
20	Дерново-подзолистая суглинистая	Яровая пшеница	Зерно	217	6,0	577,2	29,6
21	Дерново-подзолистая супесчаная	Рапс яровой	Зерно	250	5,5	743,7	44,4
22	Дерново-подзолистая суглинистая	Люпин	Зерно	324	5,9	540,2	14,8
23	Дерново-подзолистая супесчаная	Просо	Зерно	260	6,3	373,7	29,6
24	Дерново-подзолистая суглинистая	Кукуруза	Зеленая масса	345	5,9	499,5	51,8
25	Дерново-подзолистая супесчаная	Горохо-овсяная смесь	Силос	215	5,8	458,8	7,4
26	Дерново-подзолистая суглинистая	Клевер	Сенаж	185	5,4	203,5	11,1
27	Дерново-	Кукуруза	Силос	280	6,1	932,4	40,7

	подзолистая суглинистая						
28	Дерново-подзолистая суглинистая	Вико-овсяная смесь	Силос	210	5,9	384,8	7,4
29	Дерново-подзолистая суглинистая	Травы естественных сенокосов	Сено	110	4,8	688,2	33,3
30	Дерново-подзолистая песчаная	Лядвенец рогатый	Зеленая масса	190	4,6	488,4	18,5
31	Дерново-подзолистая суглинистая	Картофель	Клубни	315	6,1	351,5	11,5

Продолжение табл. 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8
32	Дерново-подзолистая песчаная	Яровая пшеница	Зерно	142	6,0	562,4	29,6
33	Торфяно-болотная (мощность торфяного слоя более 1 м)	Естественный злаково-разнотравный травостой	Зеленая масса	210	4,5	140,6	48,1
34	Торфяно-болотная (мощность торфяного слоя менее 1 м)	Ячмень	Зерно	320	5,3	351,0	17,5
35	Торфяно-болотная (мощность торфяного слоя менее 1 м)	Сеяный многолетний бобово-злаковый травостой	Зеленая масса	415	5,6	999,0	29,7
36	Торфяно-болотная (мощность торфяного слоя менее 1 м)	Овес	Зерно	520	5,6	735,0	37,5
37	Торфяно-болотная (мощность торфяного слоя менее 1 м)	Сеяный многолетний злаковый травостой	Силос	150	4,0	632,7	40,7
38	Торфяно-болотная (мощность торфяного слоя более 1 м)	Сеяный многолетний злаковый травостой	Сенаж	220	4,2	414,4	14,8
39	Торфяно-болотная (мощность	Тритикале озимое	Зерно	329	5,5	312,0	27,4

	торфяного слоя менее 1 м)						
40	Торфяно- болотная (мощность торфяного слоя более 1 м)	Естественный злаково- разнотравный травостой	Сено	320	4,9	277,5	29,6
41	Торфяно- болотная (мощность торфяного слоя менее 1 м)	Пшеница яровая	Зерно	742	5,6	432,0	27,3

Окончание табл. 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8
42	Торфяно- болотная (мощность торфяного слоя менее 1 м)	Естественный злаково- разнотравный травостой	Сенаж	258	6,2	185,0	74,8
43	Торфяно- болотная (мощность торфяного слоя более 1 м)	Естественный злаково- разнотравный травостой	Силос	209	4,5	111,0	11,1
44	Торфяно- болотная (мощность торфяного слоя менее 1 м)	Сеяный мно- голетний злаковый травостой	Сено	290	4,9	277,5	29,6
45	Торфяно- болотная	Многолетние злаковые травы	Зеленая масса	155	4,4	370,0	74,0

### За д а н и е 3.3. Расчет ограничений плотности загрязнения почв $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ при возделывании сельскохозяйственных культур

Возделывание сельскохозяйственных культур в соответствии с законодательством Республики Беларусь разрешено на землях с плотностью загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  до 40 Ки/км<sup>2</sup> и  $^{90}\text{Sr}$  до 3,0 Ки/км<sup>2</sup>.

В условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель наиболее жестко нормируются по содержанию радионуклидов продовольственные сельскохозяйственные культуры: зерновые (озимая рожь, озимая пшеница, ячмень, яровая пшеница, овес), зернобобовые (горох), картофель.

Для гарантии получения продовольственной сельскохозяйственной

продукции с минимальным содержанием  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  культуры следует размещать на хорошо окультуренных дерново-подзолистых суглинистых, дерново-подзолистых связно- и рыхлосупесчаных почвах, подстилаемых моренным суглинком, с повышенным содержанием гумуса (>2 %), подвижных форм  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$  (200–300 мг/кг), близкой к нейтральной реакцией ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5,6–7,0).

В соответствии с РДУ-99 предельное содержание радионуклидов в зерне продовольственных зерновых и зернобобовых культур не должно превышать:  $^{137}\text{Cs}$  – 90 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 11 Бк/кг. На хорошо окультуренных дерново-подзолистых суглинистых, дерново-подзолистых связно- и рыхло-супесчаных почвах продовольственные зерновые культуры (озимую рожь, озимую пшеницу, яровую пшеницу, ячмень, овес, кукурузу на зерно) можно возделывать без ограничений при плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  до 40 Ки/км<sup>2</sup>. Предельная плотность загрязнения почв для получения продовольственного зерна проса составляет не более 24 Ки/км<sup>2</sup>. Предельная плотность загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв  $^{90}\text{Sr}$  для получения нормативно чистого продовольственного зерна для большинства зерновых культур лимитируется пределами 0,2–0,4 Ки/км<sup>2</sup>. Посев овса на продовольственные цели на почвах, загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  более 0,15 Ки/км<sup>2</sup>, не рекомендуется. На величину накопления радионуклидов влияют сортовые особенности культуры. Сорты интенсивного типа, потребляющие значительное количество питательных веществ, отличаются повышенным накоплением радионуклидов.

При выращивании на продовольственные цели картофеля содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в клубнях не должно превышать соответственно 80 и 3,7 Бк/кг. На дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах при обеспеченности подвижным калием 140–300 мг/кг плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  не лимитируется. На песчаных почвах нормативно чистый картофель можно получить при плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  не более 27 Ки/км<sup>2</sup>. На слабокислых и нейтральных суглинистых почвах картофель на продовольственные цели можно выращивать при плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  до 0,8 Ки/км<sup>2</sup>. На дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах плотность загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  ограничивается пределом 0,6 Ки/км<sup>2</sup>. непригодны для возделывания картофеля загрязненные радионуклидами торфяные почвы. Коэффициент перехода  $^{90}\text{Sr}$  в клубни картофеля значительно выше по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$ . Имеет место тенденция снижения перехода  $^{90}\text{Sr}$  на дерново-подзолистой супесчаной почве с увеличением срока спелости картофеля в направлении ранние сорта → среднеранние сорта → среднеспелые сорта →

среднепоздние сорта.

Предельно допустимая плотность загрязнения почв, при которой полученный урожай будет соответствовать Республиканским допустимым уровням, определяется путем деления нормативной предельно допустимой величины загрязнения продукции на коэффициент перехода при соответствующем уровне плодородия почв. Например, необходимо определить предельно допустимую плотность загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв  $^{137}\text{Cs}$ , при которой содержание радионуклида в сене многолетних злаковых трав не будет превышать уровни, допустимые при производстве цельного молока. Обеспеченность почв подвижным калием составляет 120 мг/кг почвы. Значение коэффициента перехода  $^{137}\text{Cs}$  в сено многолетних злаковых трав при данном содержании калия в почве равно 1,4 (см. прил. 4). Допустимое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в сене для производства цельного молока составляет 1300 Бк/кг (см. прил. 3). Предельно допустимая плотность загрязнения почв, исходя из расчета (1300:1,4), составит 928,6 кБк/м<sup>2</sup>, или 25,1 Ки/км<sup>2</sup>.

**Материалы и оборудование:** справочные значения коэффициентов перехода, Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пищевых продуктах и питьевой воде, калькулятор.

## Выполнение работы

1. Рассчитайте ограничения по плотности загрязнения дерново-подзолистых почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (в кБк/м<sup>2</sup> и Ки/км<sup>2</sup>) при возделывании сельскохозяйственных культур (культура и продукция указываются преподавателем). Результаты представьте в виде табл. 8.3 и 8.4.

Таблица 3.3. Ограничения плотности загрязнения дерново-подзолистых почв  $^{137}\text{Cs}$  при возделывании \_\_\_\_\_

(культура, продукция)

в зависимости от обеспеченности почв обменным калием, кБк/м<sup>2</sup> (Ки/км<sup>2</sup>)

Разновидности почв	Содержание подвижных форм К <sub>2</sub> О в почве, мг/кг				
	менее 80	80–140	141–200	201–300	более 301
Суглинистые					
Супесчаные					
Песчаные					

Таблица 3.4. Ограничения плотности загрязнения дерново-подзолистых почв  $^{90}\text{Sr}$  при возделывании \_\_\_\_\_  
(культура, продукция)

в зависимости от уровня кислотности почв,  $\text{кБк/м}^2$  ( $\text{Ки/км}^2$ )

Разновидности почв	Уровень кислотности почвы $\text{pH}_{\text{KCl}}$					
	менее 4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	более 7,0
Суглинистые	0,28	0,37	0,48	0,67	0,77	0,83
Супесчаные	0,25	0,33	0,40	0,56	0,77	0,77
Песчаные	0,13	0,31	0,21	0,29	0,38	0,38

2. Рассчитайте ограничения по плотности загрязнения торфяных почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (в  $\text{кБк/м}^2$  и  $\text{Ки/км}^2$ ) при возделывании сельскохозяйственных культур (культура и продукция указываются преподавателем). Результаты представьте в виде табл. 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5. Ограничения плотности загрязнения торфяных почв  $^{137}\text{Cs}$  при возделывании \_\_\_\_\_  
(культура, продукция)

в зависимости от обеспеченности почв обменным калием,  $\text{кБк/м}^2$  ( $\text{Ки/км}^2$ )

Разновидность почвы	Содержание подвижных форм $\text{K}_2\text{O}$ в почве, $\text{мг/кг}$			
	менее 200	201–400	401–600	601–1000
Мощность торфяного слоя менее 1 м				
Мощность торфяного слоя более 1 м				

Таблица 3.6. Ограничения плотности загрязнения торфяных почв  $^{90}\text{Sr}$  при возделывании \_\_\_\_\_  
(культура, продукция)

в зависимости от уровня кислотности почв,  $\text{кБк/м}^2$  ( $\text{Ки/км}^2$ )

Разновидность почвы	Уровень кислотности почвы $\text{pH}_{\text{KCl}}$		
	4,51–5,00	5,01–5,50	5,51–6,00
Мощность торфяного слоя менее 1 м			
Мощность торфяного слоя более 1 м			

3. Сделайте выводы об ограничениях плотности загрязнения почв радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  при возделывании различных сельскохозяйственных культур и разном уровне плодородия почв.

### Контрольные вопросы

1. Какие показатели используются для количественной характери-

стики накопления радионуклидов растениями из почвы?

2. Дайте определение коэффициенту накопления.

3. Дайте определение коэффициенту перехода.

4. Для каких целей осуществляется прогнозирование содержания радионуклидов в продукции растениеводства?

5. Какой количественный показатель чаще всего используется при прогнозировании содержания радионуклидов в продукции растениеводства?

6. Где приведены справочные значения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растениеводческую продукцию?

7. В зависимости от каких почвенных характеристик ранжированы коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ?

8. Почему в сельскохозяйственной продукции прогнозируется только содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ?

9. По какой формуле рассчитывается прогнозное содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукции растениеводства?

10. Как определяется предельно допустимая плотность загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , при которой сельскохозяйственная продукция будет соответствовать требованиям РДУ-99?

11. От чего зависит величина предельно допустимой плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ?

#### **Лабораторная работа № 4. ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСТЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ПОЧВЫ**

Почвы агроценозов содержат естественные и искусственные радионуклиды, которые равномерно распределены в пахотном горизонте почвы. Из почвы в результате ионообменных реакций радионуклиды поступают через корни в растения, распределяются по растению и аккумулируются в органах. Большинство радионуклидов, поступивших в корни, в них и остается. По растению мигрируют преимущественно одно- и двухвалентные ионы радионуклидов, причем наиболее интенсивно –  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

Накопление радионуклидов растениями при корневом поступлении зависит от комплекса факторов, среди которых можно выделить четыре основные группы: физико-химические свойства радионуклидов, агрохимические и минералогические характеристики почвы, биологические особенности растений, агротехника возделывания культур.

Среди физико-химических факторов наибольшее значение имеют химические свойства радионуклидов и формы их нахождения в почве. Из почвенных характеристик оказывают влияние такие показатели, как: тип почвы, емкость катионного обмена, кислотность, наличие и содержание в почве минералов группы монтмориллонита, каолинита, слюд и гидрослюд, гранулометрический состав почвы. Эти свойства, в свою очередь, влияют на сорбцию радионуклидов почвой.

К биологическим факторам, обуславливающим поступление радионуклидов, относят: эволюционное происхождение, тип минерального питания растений, продолжительность вегетационного периода, продуктивность, тип и распределение корневой системы в почве.

Большое влияние на поступление радионуклидов в растения оказывает агротехника возделывания культур в условиях радиоактивного загрязнения земель: подбор культур с минимальными коэффициентами перехода радионуклидов в продукцию растениеводства, специальные способы обработки почвы, внесение повышенных норм (в 1,5–2 раза) известковых, калийных и фосфорных удобрений, внесение органических удобрений и микроэлементов, регулирование водного режима, а также использование биологически активных препаратов.

Из искусственных радионуклидов в окружающей среде и в агроценозах преобладает  $^{137}\text{Cs}$ , который является долгоживущим радионуклидом, его период полураспада 30 лет. Установлено, что в первые годы после аварии происходило снижение доли доступных для растений форм  $^{137}\text{Cs}$  в различных почвах, а спустя 10 лет установилось равновесие форм, т. е. наступила их стабилизация. В дерново-подзолистых суглинистых почвах с высоким содержанием глинистых минералов за прошедший период доля доступных форм  $^{137}\text{Cs}$  значительно уменьшилась по сравнению с 1986 г. и в настоящее время не превышает 5 %. Основная доля радионуклида находится в связанной форме, потому что он легко входит в кристаллическую решетку глинистых минералов по механизму изоморфного замещения калия. В дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах доля доступных форм  $^{137}\text{Cs}$  находится в пределах 10–20 %. Еще выше содержание доступных форм  $^{137}\text{Cs}$  на торфяно-болотных почвах, занимающих около 13 % территории республики. В то же время доля доступных для растений форм  $^{90}\text{Sr}$  не только не снизилась, а даже несколько возросла. Она достигает в дерново-подзолистых почвах 70 %, торфяно-болотных – 50 %. В связи с этим при одинаковой плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  поступление  $^{90}\text{Sr}$  из почв в растения в среднем в 10 раз выше,

чем  $^{137}\text{Cs}$ .

#### **Задача 4.1. Изучение влияния видовых особенностей растений на накопление $^{137}\text{Cs}$**

На накопление радионуклидов растениями оказывают влияние различные биологические особенности, среди которых выделяют эволюционное происхождение растений, или филогенез, тип минерального питания, фазу развития растений и др.

Растения, имеющие раннее происхождение, накапливают больше радионуклидов, чем растения, возникшие в поздние периоды. По накоплению радионуклидов отделы флоры располагаются в следующем убывающем порядке: лишайники → мхи → папоротники → голосеменные → покрытосеменные. Различия по накоплению радионуклидов выявлены в пределах классов, семейств, видов и родов. Межвидовые различия могут достигать 5–100 раз и более. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в расчете на сухое вещество у сельскохозяйственных культур может различаться до 50 раз, а накопление  $^{90}\text{Sr}$  – до 30 раз при одинаковой плотности загрязнения почвы.

Накопление радионуклидов зависит от типа минерального питания, т. е. от потребности культур в калии, кальции и других элементах питания, а также от места расположения, типа и мощности корневой системы. Калиелюбивые культуры (свекла, картофель, овес, капуста) накапливают больше цезия, а кальциелюбивые (люпин, люцерна, клевер, горох) – больше стронция. Растения с мочковатой и корневищной корневой системой, расположенной в верхних слоях почвы, накапливают больше радионуклидов, чем растения со стержневой системой, которая проникает в более глубокие и «чистые» почвенные горизонты.

Значительное влияние на накопление радионуклидов оказывает онтогенез, или фаза развития растений. Максимальное накопление радионуклидов наблюдается в ранних фазах развития, когда происходит интенсивный рост, сопровождающийся активным всасыванием питательных веществ, радионуклидов и переносом их в наземные органы. Например, у зерновых культур максимальное накопление в наземной массе происходит в фазе кущения и в фазе выхода в трубку. В фазах молочной и восковой спелости происходит отток питательных веществ и радионуклидов из листьев в зерно, где содержание цезия может возрасти до четырех раз.

**Цель работы:** изучить видовые различия сельскохозяйственных

культур по накоплению  $^{137}\text{Cs}$ .

**Материалы и оборудование:** справочные значения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в растения (см. прил. 4–7).

### Выполнение работы

1. Составьте убывающие ряды по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  зерном и соломой для следующих культур: озимая рожь, рапс, горох, ячмень, люпин, просо, пшеница, вика, овес (значения  $K_p$  для указанных культур взять из прил. 4 для дерново-подзолистой супесчаной почвы при содержании обменного калия 141–200 мг/кг почвы).

2. Составьте убывающий ряд по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  в зеленой массе, корнеплодах, клубнях для следующих культур: рапс, горох, многолетние злаковые травы, горохо-овсяная смесь, люпин, многолетние бобово-злаковые смеси, вико-овсяная смесь, клевер, кормовая свекла, кукуруза, картофель.

3. Составьте аналогичные убывающие ряды по накоплению  $^{90}\text{Sr}$  (значения  $K_p$  для указанных культур взять из прил. 6 для дерново-подзолистой супесчаной почвы при рН, равном 5,1–5,5).

4. Сделайте выводы о том, какие культуры накапливают радионуклиды в минимальных количествах, а какие в максимальных.

### За д а н и е 4.2. Изучение влияния сортовых особенностей растений на накопление $^{137}\text{Cs}$

К настоящему времени экспериментально установлено, что не только культуры различаются по способности накапливать радионуклиды, но и сорта одной и той же культуры могут значительно различаться по накоплению радионуклидов. Сортовые различия могут составлять 1,5–3 раза. У сортов выявлен внутрисортовой полиморфизм, т. е. неоднородность растений (линий), входящих в сортовую популяцию по способности накапливать радионуклиды. Это связано с физиологическими особенностями питания, роста и развития отдельных растений и сортов. Доказано, что сорта интенсивного типа накапливают больше радионуклидов, чем обычные сорта, потому что для формирования урожая им необходимо повышенное содержание доступных элементов питания в почве, особенно калия, фосфора и азота. При незначительном дефиците их в почвенном растворе недостаток в элементах питания растения восполняют за счет более активной по-

глощения ионов радионуклидов цезия и стронция, а также других химических элементов.

**Цель работы:** изучить сортовые различия сельскохозяйственных культур по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  (на примере клевера лугового).

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), сопряженные пробы сена клевера лугового и почвы, весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Подготовьте гамма-радиометр к работе.
2. Определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в растительных пробах ( $A_{m, \text{раст}}$ ) и сопряженных пробах почвы ( $A_{m, \text{почвы}}$ ). Результаты занесите в отчет о работе (табл. 4.1).
3. Рассчитайте поверхностную активность почвы  $A_s$ .
4. Вычислите значения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  из почвы в продукцию растениеводства.
5. Рассчитайте, во сколько раз отличаются максимальное и минимальное значения  $K_p$  у разных сортов клевера.

Таблица 4.1. Влияние сортовых особенностей клевера лугового на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в сене

Сорта клевера	Содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг		$A_s$	$K_p$
	$A_{m, \text{раст}}$	$A_{m, \text{почвы}}$		
Яскравы				
Цудоўны				
ВИК-7				
Дымковский				
Тетравик				
Долина				
Мерея				
Ренова				
Слуцкий				

### За д а н и е 4.3. Изучение распределения $^{137}\text{Cs}$ в органах растений

В органах растений радионуклиды распределяются неравномерно. Известно, что 90–99 % радионуклидов рутения, церия и кобальта концентрируется в корнях. Концентрация цезия и стронция в корнях мо-

жет составлять 20–40 %, а 60–80 % этих радионуклидов поступает в наземные органы, где они распределяются неравномерно. Из них около 80 % накапливается в листьях и стеблях. Наименьшая концентрация радионуклидов отмечается в генеративных органах, т. е. в семенах, при максимальном накоплении в оболочках, кроющих чешуях, створках бобов и стручков. В корнеплодах высокое накопление радионуклидов отмечается в головке, в кожице и в сердцевине. В клубнях картофеля максимальное накопление радионуклидов происходит в кожуре. Следует отметить, что при одинаковой плотности загрязнения почв в картофеле содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  значительно ниже, чем в корнеплодах. Это связано с тем, что клубень – это видоизмененный побег, в который питательные вещества и радионуклиды поступают из наземных органов. Корнеплод – это видоизмененный корень, активно поглощающий и накапливающий радионуклиды.

**Цель работы:** изучить закономерности распределения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  в органах растений (на примере фасоли и свеклы).

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), пробы органов растений фасоли и свеклы, весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Подготовьте гамма-радиометр к работе.
2. Измерьте содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  в различных органах растений фасоли и свеклы. Результаты занесите в отчет о работе (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  в различных органах растений

Культура, органы растения	$^{137}\text{Cs}$		$^{40}\text{K}$	
	Бк/кг	%	Бк/кг	%
Фасоль (овощная): корни стебель листья створки бобов бобы (семена)				
Свекла (столовая): корнеплод черешки листьев листья семена				

3. На основании полученных результатов выделите органы культур

с максимальным и минимальным содержанием радионуклидов. Рассчитайте разницу содержания радионуклидов в товарной и нетоварной частях анализируемых растений. У фасоли товарной частью растения являются семена, у свеклы – корнеплод.

### Контрольные вопросы

1. Какие естественные и искусственные радионуклиды содержатся в почвах агроценозов?

2. Какой искусственный радионуклид преобладает в почвах агроценозов Беларуси? Дайте ему характеристику.

3. Какие радионуклиды из почвы активно поступают в корни растений?

4. Чем можно объяснить повышенную способность сельскохозяйственных культур к накоплению  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ?

5. Почему поступление  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в корневые системы растений выше, чем  $^{137}\text{Cs}$ ?

6. В какой преимущественно форме находится в почве  $^{137}\text{Cs}$  в настоящее время? Почему?

7. Какие факторы оказывают влияние на поступление радионуклидов из почвы в корни растений?

8. Назовите основные почвенные характеристики, влияющие на поступление радионуклидов в растения.

9. Как поступление радионуклидов в растения связано с их биологическими особенностями?

10. Расположите отделы флоры в убывающем порядке по накоплению радионуклидов.

11. Во сколько раз по накоплению радионуклидов различаются виды и сорта сельскохозяйственных культур?

12. Почему растения с мочковатой корневой системой накапливают больше радионуклидов, чем растения со стержневой корневой системой?

13. В каких фазах развития растения накапливают больше радионуклидов и с чем это связано?

14. Как зерновые культуры ранжируются по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  в зерне?

15. Как зерновые культуры ранжируются по накоплению  $^{90}\text{Sr}$  в зерне?

16. Почему в зерне у озимых культур концентрация радионуклидов меньше, чем у яровых?

17. Почему сорта интенсивного типа накапливают больше радионуклидов?

18. Назовите закономерности распределения радионуклидов в растениях.

19. Какое влияние на миграцию по растению радионуклидов оказывает валентность радионуклида?

20. Как распределяются в органах растений  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ?

21. Как радионуклиды распределяются в семенах и корнеплодах?

22. Почему накопление радионуклидов в свекле выше, чем в картофеле?

23. Как  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  распределяются по органам растений фасоли и свеклы?

24. Назовите основные приемы, снижающие поступление радионуклидов в растения.

### **Лабораторная работа № 5. НОРМИРОВАНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ**

Авария на Чернобыльской АЭС обострила проблему ведения животноводства в условиях радиоактивного загрязнения территории долгоживущими радионуклидами. Ведение животноводства в этих условиях должно быть направлено на получение продукции, соответствующей Республиканским допустимым уровням содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99). Для практического решения поставленной задачи разработаны Рекомендации по ведению агропромышленного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы, в основе которых лежат результаты исследований ряда научно-исследовательских институтов Национальной академии наук. Рекомендации являются переработанным и дополненным изданием опубликованных в 1997, 2003 и 2012 гг. Руководств по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь.

#### **Задание 5.1. Расчет содержания $^{137}\text{Cs}$ в суточном рационе животных**

Радиоактивные вещества поступают в организм животных тремя путями: через желудочно-кишечный тракт с водой и кормами, органы

дыхания с воздухом и кожный покров. Однако потенциальный вклад каждого из названных путей далеко не одинаков. Основным источником поступления радиоактивных и стабильных нуклидов в организм животных является корм (до 97 %), в меньшей степени – вода (около 2 %) и воздух.

При разработке норм содержания радионуклидов в рационах сельскохозяйственных животных и птицы учитываются содержание их в отдельных кормах, входящих в состав суточного рациона, и коэффициенты перехода ( $K_n$ ) радионуклидов из суточного рациона в продукцию. Содержание радионуклидов в продуктах животноводства рассчитывают по формуле

$$A_{\text{прод}} = \frac{A_{\text{рац}} \cdot K_n}{100},$$

где  $A_{\text{прод}}$  – удельная активность радионуклида в продуктах животноводства, Бк/кг (Ки/кг);

$A_{\text{рац}}$  – суточное поступление радионуклида с рационом, Бк/сут (Ки/сут);

$K_n$  – коэффициент перехода (процент перехода) радионуклида из рациона в 1 кг продукции, определяемый эмпирически.

Переход радионуклидов из кормов в продукцию животноводства зависит от свойств радионуклидов, уровня и полноценности кормления животных, их возраста, физиологического состояния, продуктивности и других факторов. У высокопродуктивных животных, например, коэффициент перехода радионуклидов из кормов в организм, как правило, ниже, чем у низкопродуктивных. Существенное влияние на величину коэффициента перехода оказывает сбалансированность рационов кормления животных по основным и особенно минеральным элементам питания. Поскольку  $^{137}\text{Cs}$  является химическим аналогом калия, а  $^{90}\text{Sr}$  – кальция, вопросам обеспеченности животных этими элементами должно уделяться первостепенное внимание.

Установлено, что из кормов в молоко и мясо  $^{137}\text{Cs}$  переходит более интенсивно, чем  $^{90}\text{Sr}$  (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Коэффициенты перехода радионуклидов из суточного рациона в продукцию животноводства (в % на 1 кг продукции)

Вид продукции	Радионуклиды	
	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Молоко коровье:		

стойловый период	0,5	0,24
пастбищный период	0,8	0,24
Молоко козье	10,0	2,0
Говядина	4,0	0,04
Свинина	25,0	0,10
Баранина	15,0	0,10
Козлятина	20,0	1,5
Мясо кур	450,0	0,20
Яйцо	3,5	3,2

Рациональная кормовая база должна быть организована на основе использования кормов, получаемых с пахотных земель, и сведения к минимуму использования естественных неокультуренных пастбищ и сенокосов. При невозможности проведения агромелиоративных мероприятий на естественных лугах корма с этих угодий должны использоваться для ремонтного молодняка и рабочего скота.

Если загрязненность кормов радионуклидами не превышает пределов, установленных РДУ для кормов, то нет необходимости нормировать содержание радионуклидов в суточном рационе животных. Однако в условиях каждого хозяйства могут быть существенные различия в содержании радионуклидов в кормах (т. е. имеются как «чистые», так и «грязные» корма), поэтому для гарантированного получения чистого молока и мяса устанавливаются пределы допустимого содержания (ПДС)  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в суточном рационе сельскохозяйственных животных. ПДС радионуклидов в рационе определяется из соотношения

$$\text{ПДС} = \frac{\text{РДУ} \cdot 100}{K_{\Pi}},$$

где РДУ – допустимый уровень содержания радионуклидов в продукте животноводства (согласно РДУ-99), Бк/кг;

$K_{\Pi}$  – коэффициент перехода радионуклида из суточного рациона в продукцию животноводства (см. табл. 5.1).

В табл. 5.2 приведены значения ПДС, обеспечивающие получение животноводческой продукции в пределах требований РДУ-99.

**Таблица 5.2. Предельно допустимое содержание радионуклидов в суточном рационе сельскохозяйственных животных, гарантирующее получение продукции в пределах требований РДУ-99, Бк/сут**

Виды животных	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Коровы (молоко):		

стойловый период	20000	1541
пастбищный период	12500	1541
Козы (молоко)	1000	185
Молодняк КРС	12500	Не нормируется
Свиньи	720	То же
Овцы	3333	»
Козлятина	2500	»
Куры-бройлеры	40	»

Например, согласно РДУ-99 допустимое содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молоке составляет 100 Бк/кг, коэффициент перехода ( $K_n$ ) радионуклида в молоко в пастбищный период равен 0,8 (см. табл. 10.1). Тогда

$$A_{\text{рац}} = \frac{A_{\text{прод}} \cdot 100}{K_n} = \frac{100 \cdot 100}{0,8} = 12500 \text{ Бк/сут.}$$

Примерный расчет содержания радионуклидов в суточном рационе коров приведен в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Расчет содержания радионуклидов в рационе коров в стойловый период (удой 10 кг молока в сутки)

Наименование кормов	Масса, кг	Содержание $^{137}\text{Cs}$		Содержание $^{90}\text{Sr}$	
		Бк/кг	Бк/сут	Бк/кг	Бк/сут
Сено	3	1340	4020	260	780
Солома	2	330	660	185	370
Силос сеяных трав	6	270	1620	50	300
Силос кукурузный	5	250	1250	40	200
Свекла кормовая	10	180	1800	37	370
Концентраты	3	180	540	100	300
И т о г о ...	—	—	9890	—	2320

Расчет показывает, что в этом случае содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в молоке не будет превышать установленных пределов, так как содержание радионуклидов в суточном рационе не превышает максимально допустимое. Подставив итоговые значения содержания радионуклидов в суточном рационе коров, можно рассчитать содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в молоке:  $A(^{137}\text{Cs} \text{ в молоке}) = 9890 \cdot 0,8 / 100 = 79,1 \text{ Бк/кг}$ ,  $A(^{90}\text{Sr} \text{ в молоке}) = 2320 \cdot 0,24 / 100 = 5,6 \text{ Бк/кг}$ .

Если содержание радионуклидов в суточном рационе животных выше допустимого уровня, необходима замена кормов или уменьшение количества наиболее загрязненного корма и увеличение доли чистых кормов. При высокой продуктивности животных повышение пи-

тательности рациона при нормировании в нем  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  целесообразно производить за счет более чистых и прежде всего концентрированных кормов.

Примерный расчет содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в суточном рационе коров в пастбищный период приведен в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Расчет радиоактивности рациона коров в пастбищный период

Виды корма	Масса, кг	Содержание $^{137}\text{Cs}$		Содержание $^{90}\text{Sr}$	
		Бк/кг	Бк/сут	Бк/кг	Бк/сут
Трава	55	178	9790	37	2035
Концентраты	3	25	75	111	333
Итого ...	—	—	9865	—	2368

Полученные результаты свидетельствуют о том, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  в суточном рационе составляет 9865 Бк/сут, что не превышает максимально допустимого значения (12500 Бк/сут). При этом содержание  $^{90}\text{Sr}$  (2368 Бк/сут) превышает максимально допустимое значение (1541 Бк/сут), и поэтому данный рацион не позволит получить нормативно чистое молоко.

Выращивание и откорм крупного рогатого скота на загрязненных радионуклидами территориях проводится без ограничений, если содержание  $^{137}\text{Cs}$  в суточном рационе не превышает 12500 Бк. Пример расчета содержания  $^{137}\text{Cs}$  в рационе крупного рогатого скота на откорме приведен в табл. 5.5.

Если содержание  $^{137}\text{Cs}$  в рационе превышает 12500 Бк, то откорм и выращивание крупного рогатого скота до 350–380 кг производится согласно принятым в хозяйстве технологиям без каких-либо ограничений (1-й этап). На заключительном этапе, в течение 2–3 месяцев, требуется обеспечить рацион с суточным содержанием  $^{137}\text{Cs}$  ниже ПДС. При этом необходим прижизненный радиометрический контроль животных прибором СРП-68-01 или МКС-01 «Советник».

Таблица 5.5. Расчет рациона по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  для молодняка крупного рогатого скота массой 350 кг на заключительной стадии откорма

Виды корма	Масса корма, кг	Содержание $^{137}\text{Cs}$	
		Бк/кг	Бк/сут
Силос кукурузный	20	250	5000
Сено	2	1350	2700

Виды корма	Масса	Содержание $^{137}\text{Cs}$	
Солома	1	510	510
Зерновые концентраты	1,6	160	256
Отруби	0,3	100	30
И т о г о...	–	–	8496

Нормирование рациона по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  крупного рогатого скота на откорме не производится, поскольку переход этого радионуклида ( $K_{\text{п}}$ ) в мышечную ткань составляет 0,04 %.

Неопределенность прогноза радиоактивного загрязнения животноводческой продукции в основном связана с неопределенностью прогноза удельного содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах рациона, а также с соблюдением технологий производства молока и мясной продукции. Вклад физиологических особенностей животных в неопределенность прогноза при промышленном производстве относительно невелик и учтен в коэффициентах перехода радионуклидов из рациона в молоко и мясо и составляет 10–30 %.

**Цель работы:** освоить методику нормирования поступления радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), пробы кормов, весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Подготовьте радиометр к работе.
2. Определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в кормах. Результаты измерений занесите в отчет о работе (табл. 10.3–10.5 в зависимости от рациона).
3. Рассчитайте содержание  $^{137}\text{Cs}$  в суточном рационе.
4. Сделайте вывод о возможности получения продукции с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в пределах требований РДУ-99.
5. Если содержание  $^{137}\text{Cs}$  в суточном рационе превышает ПДС, внесите предложения, как обеспечить производство нормативно чистой продукции.

### З а д а н и е 5.2. Прижизненная оценка концентрации $^{137}\text{Cs}$ в мышечной ткани крупного рогатого скота

Прижизненная оценка концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани крупного рогатого скота производится в хозяйствах перед отправкой животных на мясокомбинат, а также при приемке животных на мясокомбинате. Результаты дозиметрии животных перед отправкой на мясо-

комбинат – гамма-фон в месте измерения животных и мощность дозы гамма-излучения от животных (в мкЗв/ч или мкР/ч) – указываются в ветеринарном свидетельстве.

**Цель работы:** освоить методики прижизненного определения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани крупного рогатого скота.

**Материалы и оборудование:** прибор СРП-68-01 с датчиком, оборудованным защитным свинцовым кожухом с толщиной стенки 10–12 мм (коллиматор), или МКС-01 «Советник», животные (КРС).

### Выполнение работы

1. Оснастите детектор защитным свинцовым кожухом и для защиты от загрязнения поместите в полиэтиленовый пакет.

2. Проверьте работу прибора и его чувствительность согласно техническому описанию и паспорту.

3. Определите величину гамма-фона (в мкР/ч) на месте контроля животных.

4. Установите датчик прибора на чистую без навоза поверхность кожного покрова животных в области ягодичных мышц и произведите замер. Продолжительность измерения не менее 20 с.

5. Рассчитайте удельную активность ( $A$ ) мышечной ткани по формуле

$$A = K(P_{\text{жив}} - 0,6 \cdot P_{\text{ф}}),$$

где  $K$  – коэффициент пересчета мощности дозы в удельную активность, равный 222 Бк/кг : мкР/ч;

$P_{\text{ф}}$  – величина гамма-фона, мкР/ч;

$P_{\text{жив}}$  – мощность дозы гамма-излучения от животного, мкР/ч.

6. Сравните полученный результат с РДУ и сделайте соответствующий вывод о концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в мышечной ткани крупного рогатого скота.

7. Сопоставьте полученный результат с нормативными параметрами прижизненного определения загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  мышечной ткани КРС (табл. 5.6).

Таблица 5.6. Нормативные параметры прижизненного определения загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  мышечной ткани КРС, мкР/ч

Гамма-фон в месте измерения животных	Допустимая мощность дозы гамма-излучения от животных для производства мяса в пределах требований РДУ-99
--------------------------------------	---

Для мясокомбинатов и убойных пунктов	
3	4
4	5
5	5
Для хозяйств	
4	5
5	5
6	6
7	6
8	7
9	8
10	8
11	9
12	10
13	10
14	11
15	11

### Контрольные вопросы

1. Назовите пути поступления радиоактивных веществ в организм животных.
2. Что является основным источником поступления радиоактивных и стабильных нуклидов в организм животных?
3. Как производится расчет содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продуктах животноводства?
4. Как определяются коэффициенты перехода ( $K_n$ ) радионуклидов из суточного рациона в 1 кг продукции?
5. От каких факторов зависит переход радионуклидов из кормов в продукцию животноводства?
6. Какой изотоп,  $^{137}\text{Cs}$  или  $^{90}\text{Sr}$ , переходит более интенсивно в продукцию животноводства?
7. Чем следует руководствоваться при ведении сельскохозяйственного производства в районах радиоактивного загрязнения?
8. Какие корма, получаемые на пахотных землях или на естественных лугах и пастбищах, содержат меньше радионуклидов?
9. Для каких целей следует использовать корма, получаемые с естественных лугов?
10. Что служит гарантией получения чистого молока и мяса?
11. Как определяется предельно допустимое содержание радионуклидов в суточном рационе сельскохозяйственных животных?
12. Как производится расчет содержания радионуклидов в рационе

коров?

13. Что следует делать, если содержание радионуклидов в суточном рационе животных выше допустимого?

14. Содержание каких минеральных элементов в рационе животных наиболее существенно влияет на усвоение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ?

15. Как производятся откорм и выращивание крупного рогатого скота для производства мяса, если содержание  $^{137}\text{Cs}$  в кормах превышает предельно допустимое?

16. Нормируется ли содержание  $^{90}\text{Sr}$  в рационе крупного рогатого скота на откорме?

17. Чем и как производится прижизненный радиометрический контроль животных?

18. Как рассчитать удельную активность мышечной ткани животных?

### **Лабораторная работа № 6. МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА, ЖИВОТНОВОДСТВА И ЛЕСОВОДСТВА, НАПРАВЛЕННЫЕ НА СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ $^{137}\text{Cs}$**

Несмотря на то, что после катастрофы на Чернобыльской АЭС прошло более 30 лет, содержание радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в сельскохозяйственной продукции и продуктах питания превышает содержание, которое было зарегистрировано до катастрофы. Так, среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  глобального происхождения в основных продуктах питания жителей Минской области в 1985 г. составляло: в молоке – 0,31 Бк/л, хлебе ржаном – 0,12 Бк/кг, хлебе пшеничном – 0,21 Бк/кг, картофеле – 0,60 Бк/кг, свинине – 0,16 Бк/кг и говядине – 0,29 Бк/кг. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в этих же продуктах в 1995 г. составляло соответственно 37,2; 5,03; 6,8; 5,0; 6,8 и 9,8 Бк/кг. При этом суточное поступление  $^{137}\text{Cs}$  в организм человека до чернобыльской катастрофы составляло около 1 Бк/сут, а в 1995 г. – 22 Бк/сут. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  – соответственно 0,6 и 1,0 Бк/сут.

С продуктами питания радионуклиды поступают в организм человека, где накапливаются в различных органах и тканях. Известно, что  $^{137}\text{Cs}$  накапливается в мышечной ткани и во внутренних органах, а  $^{90}\text{Sr}$  – преимущественно в костной ткани. Ионизирующие излучения, возникающие при радиоактивном распаде ядер радионуклидов, находящихся в организме, формируют дозу внутреннего облучения челове-

ка. Основной вклад в дозу внутреннего облучения человека вносят молоко и молочные продукты, картофель и лесные продукты питания.

В настоящее время сельскохозяйственное производство на территории радиоактивного загрязнения осуществляется при плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  не более  $1480 \text{ кБк/м}^2$  ( $40 \text{ Ки/км}^2$ ) и  $^{90}\text{Sr}$  не более  $111 \text{ кБк/м}^2$  ( $3 \text{ Ки/км}^2$ ).

Проведение агротехнических, агрохимических и других мероприятий, направленных на уменьшение поступления и накопления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукции растениеводства и животноводства, не позволяет полностью исключить их попадание в продукты питания. Дальнейшее снижение содержания техногенных радионуклидов в продуктах питания возможно в процессе переработки продукции растениеводства, животноводства и лесоводства.

Радионуклиды попадают в растения и далее в организм животных и человека преимущественно в составе хорошо растворимых в воде соединений. Поэтому они концентрируются в продукции в основном в компонентах, содержащих воду. В связи с этим любая технологическая переработка, предусматривающая отделение воды путем отжима, фильтрования, центрифугирования и других способов, кроме высушивания, будет приводить к дезактивации продукта. Установлено, что при некоторых технологических процессах переработки, сопровождающихся разделением продукции на несколько компонентов, большая часть радионуклидов концентрируется в каком-либо одном компоненте (причем этим компонентом нередко оказывается не основной, а побочный продукт переработки).

В первичной переработке продукции, загрязненной радионуклидами, выделяют механическую очистку, термическую обработку, техническую переработку и засолку.

**Механическая очистка.** Несложные процедуры, такие, как тщательная мойка овощей, фруктов, ягод, грибов, а также снятие кожуры и кроющих листьев, позволяют снизить содержание в них радионуклидов на 30–50 %. При разделке рыбы, когда удаляются чешуя, жабры, голова, внутренности, плавники, большая часть радионуклидов устраняется с этими отходами.

**Термическая обработка.** Обработка пищевых продуктов, содержащих радионуклиды, без добавления (обжаривание) или с добавлением в небольшом количестве (тушение) воды снижает содержание радионуклидов в готовом продукте только на 15–20 % от исходного уровня. При варке мяса и овощей в большом объеме воды в бульон

особенно интенсивно переходит  $^{137}\text{Cs}$ .

**Техническая переработка.** Обычное отвеивание зерна (пшеница, рожь) дает возможность снизить уровни его загрязнения примерно в 1,5–2 раза. При обрушивании зерна ячменя, овса, гречихи с удалением пленок содержание радионуклидов в конечном продукте, т. е. в крупе, снижается в 10–20 раз, при переработке пшеницы и ржи на муку – в 1,5–2 раза. Особенно эффективна глубокая переработка сельскохозяйственной продукции в процессе получения сахара, крахмала, спирта и масла (табл. 6.1). В конечных продуктах переработки радионуклиды или не обнаруживаются совсем, или находятся в малых количествах.

Предварительная обработка мелко нарезанного мяса в воде или в 0,85 %-ном растворе поваренной соли обеспечивает удаление из него 30–60 %  $^{137}\text{Cs}$ .

Техническая переработка загрязненной радионуклидами сельскохозяйственной продукции должна осуществляться непременно с учетом уровней загрязнения исходного сырья, экономической целесообразности этого мероприятия, возможности использования ценных кормовых отходов технических производств для получения дополнительной продукции. Например, в животноводстве при откорме возможно использование в рационах животных загрязненных радионуклидами жмыха, шрота, патоки, барды, жома и т. д.

Таблица 6.1. Влияние технической переработки сельскохозяйственного сырья на содержание радионуклидов в конечном продукте

Исходная продукция	Конечная продукция	Содержание радионуклидов в продукте, % от исходного	
		$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
Сахарная свекла	Сахар	0,02	0,5
	Жом	53	16
	Патока	0,8	0,5
Картофель	Крахмал	2	5
	Спирт	0	0
	Барда	95	95
Подсолнечник	Масло	0	0
Пшеница, рожь	Мука	60	60
Ячмень, овес, гречиха	Крупа	70	70

**Засолка.** При засолке огурцов, капусты, грибов в рассол переходит примерно половина радионуклидов, находящихся в перерабатываемом исходном сырье.

**Цель работы:** определить эффективность различных методов переработки продукции растениеводства, животноводства и лесоводства, направленных на снижение содержания  $^{137}\text{Cs}$ .

### **Механическая очистка и техническая переработка продукции растениеводства**

Снижение содержания радионуклидов в продукции растениеводства достигается при использовании таких простых методов, как промывка в проточной воде, очистка от кожуры, отмачивание в воде, удаление кроющих листьев у капусты. Концентрация радионуклидов в продукции уменьшается также при консервировании, засолке, варке, но при этом надо помнить, что радионуклиды переходят в маринад при консервировании или в воду при варке. Эффективность этих приемов с учетом кратности очистки от  $^{137}\text{Cs}$  приведена в табл. 6.2.

Овощи (огурцы и помидоры) достаточно перед использованием промыть. Капусту следует употреблять без верхних трех-четырех листьев и кочерыжки, так как удаление кроющих листьев снижает загрязнение радионуклидами до четырех раз.

У свеклы, моркови, брюквы, репы, редьки и других корнеплодов обязательно нужно удалять ботву вместе с венчиком на 10–15 мм. Это позволяет снизить уровень загрязнения в 15–20 раз. Лук, салат, петрушку, редис и другие овощи тщательно отмывают от частиц почвы. Картофель и корнеплоды необходимо промывать два раза: перед тем как снимать кожуру и после очистки кожуры.

**Таблица 6.2. Эффективность приемов снижения содержания радионуклидов в продукции растениеводства**

Исходная продукция	Способ обработки (готовый продукт)	Коэффициент очистки, $K_{оч}$
Зерно (пшеница, рожь, ячмень, гречиха, пшено и др.)	Отвешивание	1,5–2,0
	Отмывание проточной водой	1,5–3,0
	Переработка на муку, крупу	1,2–2,5
	Переработка на спирт	1000
Зерно (овес, гречиха, ячмень)	Обрушение, удаление пленок	10–20
Картофель (клубни)	Очистка	3–5
	Варка	2–3
	Переработка на крахмал	50
	Переработка на спирт	1000
Соя, рапс, подсолнечник,	Переработка на	500 (промышленный)

кукуруза	растительное масло	способ), 50 (в домашних условиях)
Овощи	Отмывание проточной водой	3–10
	Удаление кроющихся листьев (кочан), засолка, маринование	2–5
Сахарная свекла	Переработка на сахар	70–90
Ягоды, фрукты	Переработка на сок	До 100
	Переработка на вино	До 500
	Переработка на варенье	100–500

При варке картофеля, свеклы, моркови, фасоли нужно сливать отвар после 10–15 мин кипячения, что способствует удалению из этих овощей от 50 до 90 %  $^{137}\text{Cs}$ .

Яблоки, груши, сливы, вишни и другие фрукты необходимо промывать проточной водой, особенно тщательно возле плодоножек и цветоножа. Ягоды нужно употреблять в пищу после их тщательной промывки в проточной воде.

Эффективность очистки сельскохозяйственной продукции от радионуклидов оценивается коэффициентом очистки ( $K_{\text{оч}}$ ) – отношением содержания радионуклида в исходном сырье к содержанию радионуклида в конечном продукте. Он показывает, во сколько раз конечный продукт переработки стал чище, чем исходное перерабатываемое сырье, и определяется по формуле

$$K_{\text{оч}} = a_1 / a_2, \quad (6.1)$$

где  $a_1$  – содержание радионуклида в исходном сырье, Бк/кг;

$a_2$  – содержание радионуклида в конечном продукте переработки, Бк/кг.

### **Задание 6.1. Переработка зерна зерновых и крупяных культур**

Зерно зерновых и крупяных культур используется в пищу в виде крупы, муки и других продуктов. Установлено, что в зерне радионуклиды распределяются неравномерно; максимальная концентрация наблюдается в кроющихся чешуях и оболочках, минимальная – в эндосперме. Поэтому механическое удаление кроющихся чешуй и оболочек (обрушивание) при производстве крупы может снижать содержание радионуклидов в конечном продукте в 10–20 раз. В то же время при отвеивании зерна, пшеницы, ржи, ячменя, гречихи, пшена коэффициент очистки составляет 1,5–2,0, при отмывании проточной водой –

1,5–3,0, при переработке на хлеб и крупу – 1,2–2,5, при переработке на спирт – 1000 (см. табл. 11.2).

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01 или др.), пробы зерна зерновых и крупяных культур, полученные из них пробы крупы и муки, весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Подготовьте радиометр к работе.
2. Измерьте удельную активность зерна, крупы и муки. Полученные результаты занесите в табл. 6.3 отчета о работе. Сравните содержание  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах переработки с РДУ-99 (см. прил. 2 и 3).
3. Рассчитайте кратность очистки (коэффициент очистки) для каждого продукта.

Таблица 6.3. Эффективность технической переработки зерновых и крупяных культур

№ п/п	Культура	Вид продукции	Содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Предельно допустимое содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Коэффициент очистки $K_{оч}$
1	Овес	Зерно			
		Крупа			
2	Ячмень	Зерно			
		Крупа			
3	Гречиха	Зерно			
		Крупа			
4	Просо	Зерно			
		Крупа			
5	Рожь	Зерно			
		Мука			

4. Сделайте выводы об эффективности технической переработки зерновых и крупяных культур.

### Задание 6.2. Дезактивация клубней картофеля

При возделывании картофеля возможно поверхностное и структурное загрязнение клубней. Поверхностное загрязнение происходит в результате прилипания частиц почвы, содержащих  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , к поверхности клубня, поэтому картофель перед закладкой на хранение

должен тщательно просушиваться и очищаться от почвы. Поверхностное загрязнение легко устраняется при промывании клубней в проточной воде перед очисткой клубня от кожуры и при промывании клубней после очистки кожуры. Структурное загрязнение происходит в результате включения радионуклидов в ткани клубней картофеля. Поступление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в клубни картофеля непосредственно из почвы не происходит. Из почвенного раствора и почвенных частиц ионы радионуклидов первоначально всасываются корневой системой растения по механизму ионно-обменных реакций. Затем из корней аналогично элементам питания, т. е. с восходящим током, радионуклиды переносятся в стебли и листья, из которых с нисходящим током частично переносятся в клубни, где накапливаются в течение всего периода вегетации. В связи с этим для снижения перехода и содержания радионуклидов в клубнях ботва картофеля должна скашиваться за 2–3 недели до уборки урожая.

Распределение радионуклидов в клубне происходит неравномерно. Установлено, что основное их количество концентрируется в кожуре, поэтому очистка клубней от нее приводит к снижению содержания радионуклидов в 3–5 раз. Отваривание очищенного картофеля со смесью отвара после 10–15 мин кипячения приводит к снижению содержания  $^{137}\text{Cs}$  в готовом продукте еще в 2–3 раза. При технической переработке клубней картофеля в крахмал и спирт снижается содержание в них  $^{137}\text{Cs}$  соответственно в 50 и 1000 раз (см. табл. 6.1).

При варке картофеля на переход радионуклидов в отвар влияют два фактора. Первый фактор – наличие поваренной соли в воде при его варке. Например, установлено, что если при варке картофеля в воду добавить 6 г/л поваренной соли, то в очищенных сваренных клубнях обнаруживается всего 37 % радиоактивного стронция и 40 % цезия. Если при варке соль в воду не добавляется, то в клубнях картофеля может находиться примерно по 65 % этих радионуклидов от исходного содержания. Эффект от добавления соли увеличивается, если картофель перед варкой измельчается на кубики. Второй фактор – наличие на картофеле кожуры. При варке картофеля в мундире переход радионуклидов в отвар значительно ниже, чем при варке очищенных клубней.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01 «Алиот» или др.), клубни картофеля, весы лабораторные, нож, посуда для варки, поваренная соль.

### Выполнение работы

1. Подготовьте радиометр к работе.
2. Последовательно измерьте содержание  $^{137}\text{Cs}$  в пробах картофеля, подготовленных согласно вариантам, приведенным в табл. 6.4.
3. Рассчитайте кратность очистки (коэффициент очистки или дезактивации) клубней картофеля для каждого способа дезактивации.

Таблица 6.4. Эффективность методов дезактивации картофеля

№ п/п	Картофель	Содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Коэффициент очистки $K_{оч}$
1	Без промывки и очистки		
2	Промытый в проточной воде		
3	Промытый в воде и очищенный от кожуры		
4	Отваренный в чистой воде		
5	Отваренный в соленой воде (6 г соли на 1 л воды)		

4. Сделайте выводы об эффективности способов дезактивации картофеля.

### Контрольные вопросы

1. Какие радионуклиды формируют радиационную обстановку в Республике Беларусь?
2. Назовите основные источники поступления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в биосферу.
3. Назовите максимальные пределы плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  при производстве сельскохозяйственной продукции.
4. В какой форме радионуклиды поступают в растения, организм животных и человека?
5. Во сколько раз возросло содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в основных продуктах питания после катастрофы на Чернобыльской АЭС?
6. Назовите основные продукты питания, которые вносят максимальный вклад в дозу внутреннего облучения.
7. В каких органах и тканях в организме человека распределяются  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ?
8. Какие способы первичной переработки продукции вы знаете и какова их эффективность?
9. Что такое техническая переработка? Приведите примеры, показывающие ее эффективность.
10. Дайте определение коэффициенту очистки.

11. От чего зависит накопление радионуклидов в товарной части урожая?
12. Как радионуклиды распределяются в зерне?
13. Назовите основные приемы дезактивации зерна и укажите их эффективность, или коэффициенты очистки.
14. Какие коэффициенты очистки зерна зерновых и крупяных культур были получены при выполнении лабораторной работы?
15. Что такое поверхностное и структурное загрязнение урожая?
16. Как устранить поверхностное загрязнение зерна и картофеля?
17. Как происходит структурное загрязнение зерна и картофеля?
18. Как радионуклиды распределяются в клубне картофеля?
19. Во сколько раз снижается содержание  $^{137}\text{Cs}$  при очистке и варке картофеля?
20. Как осуществляется термическая обработка картофеля и как улучшить ее эффективность?
21. Назовите основные факторы, влияющие на переход радионуклидов в отвар при варке картофеля.
22. Какие коэффициенты очистки картофеля получены при выполнении лабораторной работы?
23. Какие продукты получают при технической переработке картофеля?
24. Назовите допустимые уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в хлебе, муке, крупе и картофеле.

### **Технологические приемы обработки продукции животноводства**

Снижение загрязнения продуктов животноводства радионуклидами осуществляется по двум основным направлениям. Первое направление – ограничение поступления радионуклидов в организм животных. В этом направлении особое значение приобретают способы организации кормления и содержания лактирующих коров и скота, находящегося на заключительной (преддубойной) стадии откорма. Второе направление – снижение содержания радионуклидов в продукции путем технологической переработки.

Снижению содержания радионуклидов в продукции животноводства способствуют традиционные методы технологической и кулинарной обработки молока и мяса.

При переработке молока часть радионуклидов, содержащихся в нем, может переходить из загрязненного молока в молочные продук-

ты. В молоке  $^{137}\text{Cs}$  находится в водной фазе, поэтому при получении масла и сыров он остается в сыворотке и пахте.  $^{90}\text{Sr}$  в основном связан с казеином в виде казеинатфосфатного комплекса, поэтому при переработке молока вначале необходимо разрушить этот комплекс путем подкисления лимонной или соляной кислотой. При сквашивании молока комплекс разрушается молочной кислотой, выделяемой молочно-кислыми бактериями. При кислотном свертывании молока до 90 % стронция удаляется с сывороткой, при бескислотном сычужном свертывании молока с сывороткой удаляется не более 20 % стронция и около 80 % остается в сыре, при сычужно-кислотном свертывании в сыре остается около 70 % стронция. Удаление  $^{137}\text{Cs}$  с сывороткой практически одинаково как при сычужном, так и при кислотном свертывании, поэтому в сыре остается 10–20 %  $^{137}\text{Cs}$ .

При сепарировании молока около 85 % радионуклидов переходит в обезжиренное молоко, а в 20%-ных сливках остается только 15 % радионуклидов. В ходе дальнейшей переработки сливок для получения сливочного масла большая часть  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , содержащихся в сливках, удаляется в пахту, а в масле обнаруживается соответственно 1,3 и 2,3 % радионуклидов, находившихся в исходном загрязненном молоке. Топленое масло практически не содержит радионуклидов, потому что при перетопке сливочного масла отделяются лецитино-белковые оболочки жировых шариков, с которыми связаны радионуклиды.

Следует иметь в виду, что хотя с отходами переработки молока удаляется большое количество радионуклидов, их концентрация (Бк/кг) в молочных продуктах может быть такой же, как и в молоке (или даже выше). Это объясняется тем, что для производства молочных продуктов используется сравнительно большое количество молока. Например, на изготовление 1 кг сливочного масла требуется 20–25 кг молока, а на 1 кг творога или сыра расходуется 8–10 кг цельного молока и т. д.

Ориентировочные данные о загрязнении молочных продуктов относительно молока приведены в табл. 6.5.

$^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  не связываются с жировой фазой молока, поэтому наименее загрязненным продуктом при переработке молока является масло, далее идут сливки, творог и сыр клинковый.

Из побочных продуктов переработки молока максимальное содержание этих радионуклидов обнаруживается в сыворотке.

**Таблица 6.5. Переход радионуклидов из молока в молочные продукты, в % от содержания в молоке**

№ п/п	Виды продукции	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs
1	Сливки: (жирность), %:		
	10	36,5	36,5
	20	15,4	15,8
	35	6,6	6,8
2	60	1,6	1,9
	Тощий творог:		
3	кислотный (молочно-кислая закваска)	8,1	10,9
	сычужно-кислотный (сычужный фермент)	31,0	12,0
4	Жирный творог:		
	кислотный (молочно-кислая закваска)	8,2	12,2
5	сычужно-кислотный (сычужный фермент)	68,8	23,2
	4	Масло сливочное	1,28
5	Масло топленое	0	0
6	Казеин кислый	6,5	1,8
7	Казеин сычужный	84,6	1,8

Переработка загрязненного радионуклидами молока на сливки, масло, творог и сыр приводит к снижению содержания радионуклидов в конечных продуктах на 40–90 %, потому что в процессе переработки значительная их часть переходит в побочные продукты – обрат, сыворотку, пахту. При переработке молока в творог может переходить 5,2–13,4 % <sup>137</sup>Cs и 16,0–35,0 % <sup>90</sup>Sr, в сливки – соответственно 4,5–10,0 и 2,2–4,7 %, в масло – около 1 % от исходного содержания радионуклидов в молоке.

Разработан ряд приемов очистки непосредственно самого молока от радионуклидов, но на перерабатывающих предприятиях они не используются, например: очистка молока от радиоизотопов стронция с помощью малорастворимых соединений щелочно-земельных элементов, ионообменные методы очистки молока, метод электродиализа.

Значительная часть молока, особенно в сельской местности, подвергается переработке в молочные продукты домашним способом, т. е. путем самопроизвольного сквашивания для получения сметаны, творога, масла. При переработке молока из рациона питания человека может быть исключено до 63–82 % содержащихся в нем радионуклидов.

### **Задание 6.3. Технологическая переработка молока в домашних условиях**

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), емкости для молока, сметаны, творога, марля, молоко, сме-

тана, творожная масса, весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Подготовьте радиометр к работе.
2. Измерьте содержание  $^{137}\text{Cs}$  в цельном молоке. Результат запишите в отчет (табл. 11.6).

Таблица 11.6. Эффективность методов переработки молока

№ п/п	Вид продукции, способ переработки	Содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг (Бк/л)	Предельно допустимое содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Коэффициент очистки $K_{оч}$
1	Молоко цельное			
2	Сметана			
3	Творожная масса			

3. Поставьте молоко для закисания.
4. Снимите сметану.
5. Получите творожную массу путем отжима сыворотки через марлю.
6. Определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в пробах сметаны и творожной массы.
7. Рассчитайте кратность очистки для каждого молочного продукта.
8. Сделайте выводы об эффективности методов переработки молока.

### Задание 6.4. Влияние способов технологической переработки молока на содержание $^{137}\text{Cs}$ в молочных продуктах

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), емкости для продуктов, марля, молоко, масло, пахта, сливки различной жирности, обезжиренное молоко, зерно сырное с сывороткой, сыворотка, сыр промытый, весы лабораторные.

### Выполнение работы

1. Используя данные, приведенные в табл. 6.7, рассчитайте процент перехода  $^{137}\text{Cs}$  в продукты переработки молока (содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молоке-сырье примите за 100 %).

Таблица 6.7. Влияние способов технологической переработки молока на содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молочных продуктах

№ п/п	Виды продукции	Содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/л (Бк/кг)	Переход $^{137}\text{Cs}$ в продукты переработки, %	Коэффициент очистки $K_{\text{оч}}$
1	Молоко-сырье	103,7		
2	Сливки 20%-ной жирности	48,2		
3	Сливки 70%-ной жирности	7,4		
4	Масло крестьянское	4,8		
5	Сыворотка	40,8		
6	Пахта	39,6		
7	Обезжиренное молоко	74,1		
8	Зерно сырое с сывороткой	88,8		
9	Сыр после промывания	25,9		

2. Рассчитайте кратность очистки молочных продуктов в результате переработки по формуле (11.1).

3. Сделайте вывод о том, какие способы переработки молока наиболее эффективны.

### Задание 6.5. Технологическая переработка мяса

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01), 2 кг говядины, нож, емкости для вымачивания и отваривания мяса, поваренная соль, весы лабораторные.

Радионуклиды в туше животного распределяются неравномерно, что вызвано различной аккумуляцией их отдельными органами и тканями животных. Концентрируется  $^{90}\text{Sr}$  в основном в костной ткани,  $^{137}\text{Cs}$  – в мышечной ткани и тканях внутренних органов.

В настоящее время наиболее эффективным методом дезактивации мяса является кулинарная обработка, представляющая обычную варку в чистой воде или с добавлением в нее соли, лимонной, уксусной и молочной кислот.

Уровень радиоактивного загрязнения мяса может быть значительно снижен путем засолки его в рассоле. Наибольший эффект достигается при предварительной нарезке мяса на куски и последующем посоле при многократной смене рассола. В результате этого  $^{137}\text{Cs}$  переходит в рассол. Эффективность выведения  $^{137}\text{Cs}$  из мышечной ткани возрастает с увеличением длительности вымачивания (не менее 12 ч). При вымачивании и последующей промывке может теряться до 36 % питатель-

ных веществ, поэтому, чтобы избежать этих потерь, в рассол добавляется немного уксусной эссенции или аскорбиновой кислоты.

Снизить концентрацию радионуклидов в мясе можно также с помощью варки при обязательном удалении отвара после 10-минутного кипячения. При обычной варке из мяса, печени и легких в отвар переходит примерно 50 %  $^{137}\text{Cs}$ .

В салe содержится значительно меньше радионуклидов, чем в мясе. При его перетопке 95 %  $^{137}\text{Cs}$  остается в шкварке, а в жир переходит до 5 %.

Оценочным параметром влияния технологической переработки пищевого сырья на переход радионуклида в конечную продукцию является коэффициент удержания активности в продукте ( $F_r$ ), который определяется как доля первоначальной активности радионуклида, остающаяся в продукте после обработки сырья.

При технологической переработке мясного сырья в пищевой промышленности наиболее распространено изготовление колбасных изделий. Значение коэффициента удержания активности для  $^{137}\text{Cs}$  при выработке этих продуктов питания значительно варьирует. При этом сказывается влияние различий в рецептуре и технологических процессах для разных видов изделий. Наибольшее загрязнение  $^{137}\text{Cs}$  имеет конечная продукция, в рецептуре которой содержится высокий процент говядины (табл. 6.8).

Таблица 6.8. Относительное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в промежуточных и конечных продуктах при производстве колбасных изделий

Виды изделий	Процент содержания говядины	Процент от начальной активности сырья		Коэффициент удержания $F_r$	
		Фарш, готовый к заполнению оболочек	Конечный продукт	Мясо-продукт	Фарш-продукт
Колбаса вареная	35	30,3 ± 3,2	34,1 ± 4,4	0,34	0,49
Колбаса вареная говяжья	98	55,5 ± 3,9	76,6 ± 6,0	0,77	1,38
Колбаса полукопченая	30	32,5 ± 3,1	49,2 ± 5,3	0,49	1,52
Колбаса полукопченая говяжья	97	53,9 ± 4,9	82,9 ± 8,5	0,83	1,54
Сосиски	45	31,7 ± 3,7	35,9 ± 5,2	0,36	1,13
Сосиски говяжьи	97	56,6 ± 3,2	70,7 ± 5,0	0,71	1,25
Ветчина говяжья	95	85,3 ± 12,0	109,2 ± 6,5	1,09	1,28

Установлены также различия в переходе  $^{137}\text{Cs}$  при изготовлении различных типов колбасных изделий. Например, при одинаковом содержании говядины в рецептуре вареные колбасы и сосисочные изделия имеют меньшее содержание радионуклида по сравнению с полукопчеными колбасами и ветчинами. В первую очередь это объясняется существенными различиями в технологии производства. Стадии копчения и сушки, которые проходят названные изделия, обуславливают увеличение концентрации радионуклида в конечном продукте.

На содержание  $^{137}\text{Cs}$  в готовых изделиях влияет количество удаленной влаги, которое определяется величиной выхода готовой продукции к массе несоленого сырья.

Чем выше величина выхода и чем больше мясо, загрязненное  $^{137}\text{Cs}$ , разбавлено вносимыми компонентами, тем ниже удельная активность этих изделий. Более полно отражает картину перехода радионуклидов из исходного сырья в изделие отношение коэффициента удержания ( $F_r$ ) к эффективному выходу продукта ( $P_e$ ), выраженному в долях единицы (относительно массы исходного сырья). В этом случае учитывается содержание общей влаги в конечном продукте, которое зависит от режима термической обработки и изменения общей массы производимого продукта за счет разбавления другими компонентами. Например, если  $P_e$  продукта равен 0,82, это означает, что из 1 кг исходного сырья можно получить лишь 0,82 кг готового продукта (колбасы). При значении  $F_r$  для этого продукта, равном 0,83, отношение  $F_r/P_e$  будет 1,01. Оно показывает, что при производстве 1 кг изделия концентрация в нем радионуклида практически не изменится по сравнению с удельной активностью исходного сырья.

В табл. 6.9 приведены результаты этих расчетов.

Таблица 6.9. Значение эффективного выхода продукта и отношение коэффициента удержания ( $F_r$ ) к эффективному выходу продукта ( $P_e$ )

Наименование	Эффективный выход продукта $P_e$	Отношение $F_r/P_e$ (мясо-продукт)	Отношение $F_r/P_e$ (фарш-продукт)
Колбаса вареная	1,00	0,34	1,13
Колбаса вареная говяжья	1,10	0,70	1,25
Колбаса полукопченая	0,80	0,62	1,90
Колбаса полукопченая говяжья	0,82	1,01	1,87
Сосиски	1,12	0,32	1,01
Сосиски говяжьи	1,12	0,63	1,12
Ветчина говяжья	0,96	1,14	1,33

В общем случае при значениях  $F_r/P_e$  меньше единицы наблюдается снижение содержания радионуклида в единице массы готового продукта при затратах такой же массы сырья на его производство. В случае, когда  $F_r/P_e$  больше единицы, наблюдается концентрирование. Большой способностью концентрировать  $^{137}\text{Cs}$  на технологической стадии «фарш-продукт» обладают полукопченые колбасы.

Таким образом, основным путем снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  при технологической переработке говядины в колбасные изделия является простое разбавление загрязненного мяса компонентами, содержащими меньшее количество радионуклида, например свиной, соевыми компонентами. Влияние собственно технологических операций, таких как термическая обработка, охлаждение и сушка, оказывает меньшее влияние на уменьшение концентрации радионуклида. При этом может наблюдаться обратное: потеря влаги при сушке ведет к некоторому концентрированию радионуклида в готовой продукции, что особенно заметно при изготовлении полукопченых колбасных изделий и ветчин.

Переработка загрязненного мяса в домашних условиях осуществляется с помощью промывки в проточной воде, вымачивании в соленом растворе, варке, приготовлении жаркого, бефстроганов и засолке.

Установлено, что радионуклиды вымываются водным раствором поваренной соли, в который можно добавить немного уксуса или аскорбиновой кислоты. В этом случае из очищаемого мяса белки не будут теряться, а  $^{137}\text{Cs}$  из него быстрее перейдет в раствор.  $^{90}\text{Sr}$  образует с кислотами гидроокислы, которые нерастворимы в воде и выпадают в осадок, поэтому периодически раствор заменяют. Вымачивание мяса в растворе поваренной соли на протяжении 6–12 ч снижает в нем концентрацию радионуклидов в два раза и более. Способ извлечения  $^{137}\text{Cs}$  из мяса при вымачивании в соляном растворе основан на том, что натрий вытесняет цезий из мяса в раствор.

С помощью варки можно снизить содержание радионуклидов в мясе, предварительно промытом в проточной воде и вымоченном в соляном растворе, при этом обязательным приемом является удаление отвара (бульона) после 8–10-минутного кипячения.

Во время варки мяса после его кипячения в течение 20 мин в бульон переходит 50–80 %  $^{137}\text{Cs}$ , который удаляют, а мясо заливают чистой водой и варят до готовности. Удаление  $^{90}\text{Sr}$  из костей методом варки менее эффективно (0,009–0,18 %), так как он, как и кальций, включается в структурные ткани скелета.

Для приготовления жаркого мясо нарезают на куски и заливают водным раствором поваренной соли: на 1 л воды 40 г соли (две столовые ложки без верха) и 1–1,5 мл 70%-ной уксусной эссенции. Вымачивание осуществляется в эмалированной или стеклянной посуде. Соотношение массы мяса и объема раствора должно быть 1:2, т. е. на 1 кг мяса берется 2 л раствора. Мясо три раза заливают новым раствором, причем для ускорения выведения радионуклидов из мяса раствор периодически взбалтывают. Через 6–12 ч в мясо добавляют специи и готовят для употребления.

При приготовлении бефстроганов мясо нарезают более мелкими кусками, раствор заменяют 2–3 раза через каждые 3 ч, поэтому процесс выведения ускоряется. Через 6–9 ч мясо готово для употребления.

В домашних условиях часто используется приготовление солонины для длительного хранения путем засолки мяса в рассоле. При этом способе переработки уже за один месяц до 30 % радионуклидов переходит в рассол. Выведение цезия из солонины, нарезанной по 20–30 г, осуществляется при вымачивании ее в холодной воде при температуре 4–5 °С, которая заменяется на чистую через 3 ч. Обычно проводится трехкратное вымачивание, однако при избытке соли в солонине вымачивание проводят 4–5 раз. Очищенная таким способом солонина используется для кулинарной обработки и приготовления колбас.

### Выполнение работы

1. Подготовьте радиометр к работе.
2. Мясо порежьте на куски размером 2,5×2,5×3 см.
3. Определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в пробе мяса (0,5 кг).
4. Приготовьте 1,5–2 л 0,85%-ного раствора поваренной соли (NaCl). Для этого 8,5 г соли (около двух чайных ложек без горки) растворите в 1 л воды.
5. Залейте приготовленным раствором 0,5 кг мяса, перемешайте, выдержите 30 мин.
6. Мясо отделите от солевого раствора и определите в нем содержание  $^{137}\text{Cs}$ .
7. После этого мясо залейте свежим раствором NaCl и повторите действия, указанные в пп. 5 и 6.
8. 1 кг нарезанного мяса залейте 3–5 л воды, проварите 10–20 мин. Бульон слейте, определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в мясе.
9. Полученные результаты занесите в отчет о работе (табл. 6.10).

Таблица 6.10. Эффективность методов переработки мяса

№ п/п	Способ переработки	Содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Предельно допустимое содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Коэффициент очистки $K_{оч}$
1	Мясо-сырье			
2	Мясо, вымоченное в 0,85%-ном растворе поваренной соли:			
	1-я обработка (30 мин) 2-я обработка (30 мин)			
3	Мясо отварное			

10. Рассчитайте кратность очистки мяса для каждого способа и сделайте выводы об эффективности предложенных способов его переработки.

## Задание 6.6. Влияние времени вымачивания и вида экстрагента на удаление $^{137}\text{Cs}$ из мяса-сырья

### Выполнение работы

1. Используя данные, приведенные в табл. 11.11, рассчитайте остаточное содержание  $^{137}\text{Cs}$  (в %) в мясе после суточного вымачивания в различных экстрагентах.

Таблица 6.11. Влияние времени вымачивания и вида экстрагентов на удаление  $^{137}\text{Cs}$  из мяса-сырья

№ п/п	Экстрагент	Удельная активность мяса, Бк/кг					Остаток $^{137}\text{Cs}$ в мясе, %	Коэффициент очистки $K_{оч}$	
		Мясо-сырье	Время вымачивания, ч						
			3	6	9	12			24
1	Водопроводная вода	2700	1004	781	363	140	84		
2	4%-ный раствор NaCl	2700	1228	782	223	167	56		
3	1%-ный раствор $\text{CH}_3\text{COOH}$	2700	1304	725	223	167	28		
4	4%-ный раствор NaCl + 1%-ный раствор $\text{CH}_3\text{COOH}$	2700	1256	753	279	167	54		

2. Рассчитайте кратность очистки мяса после суточного вымачивания.

3. Сделайте вывод о том, какой экстрагент является наиболее эффективным.

4. Определите, за какое время из мяса удаляется максимальное количество  $^{137}\text{Cs}$ .

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные пути поступления радионуклидов в организм животных и продукцию животноводства.

2. Какие приемы, направленные на снижение содержания радионуклидов в продукции животноводства, вы знаете?

3. Какие факторы влияют на переход радионуклидов из кормов в молоко и мясо?

4. Какой радионуклид ( $^{137}\text{Cs}$  или  $^{90}\text{Sr}$ ) более интенсивно переходит из кормов в молоко и мясо? Чем это объясняется?

5. Назовите основные методы переработки молока.
6. Что происходит с радионуклидами в процессе переработки молока на творог, сыр и масло?
7. Можно ли использовать метод кипячения для снижения содержания радионуклидов в молоке?
8. Какой процент  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  остается в сливках и сливочном масле при переработке молока?
9. В каком продукте переработки молока практически не содержится радионуклидов?
10. Почему коэффициент перехода  $^{90}\text{Sr}$  из молока в творог кислый (0,7) значительно ниже, чем в сыр твердый (5,8)?
11. Во сколько раз содержание  $^{137}\text{Cs}$  в сыре и масле может быть ниже, чем в молоке-сырье?
12. Назовите допустимые уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в молоке-сырье при переработке его на творог и масло.
13. Какой процент радионуклидов удаляется из рациона питания человека при переработке молока в домашних условиях?
14. Какие дополнительные методы очистки молока от  $^{90}\text{Sr}$  вы знаете?
15. Назовите особенность распределения радионуклидов в организме животных.
16. Какие радионуклиды накапливаются в мышечной и костной тканях?
17. Какой радионуклид связывается в организме с белками?
18. Назовите основные методы снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в масле.
19. Какой процент  $^{137}\text{Cs}$  удаляется из мяса при варке?
20. Как готовят мясо, содержащее  $^{137}\text{Cs}$ , для засолки?
21. В каких растворах вымачивают мясо, содержащее радионуклиды?
22. Что показывает коэффициент удержания активности в продукте переработки?
23. От чего зависит величина коэффициента удержания при переработке мяса на колбасные изделия?
24. Какие процессы при переработке мяса на колбасы способствуют увеличению концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в них?
25. Какие компоненты вводят в колбасы для снижения удельной активности в них?
26. В чем заключается метод разбавления мясных изделий?
27. Как осуществляется переработка мяса в домашних условиях?

28. В чем состоит суть метода вымачивания мяса в соленом растворе?

29. Расскажите технологию засолки мяса при приготовлении солонины.

### **Задание 6.7. Дезактивация продукции лесоводства**

В Республике Беларусь радиоактивное загрязнение отмечается в 50 из 88 лесхозов, степень загрязнения территории которых неодинакова. К настоящему времени обследованы все лесхозы и на основе этого произведено зонирование загрязненных территорий, на которых регламентирована лесохозяйственная деятельность и осуществляется радиационный мониторинг лесов и радиационный контроль продукции лесхозов. Основанием для отнесения земель лесного фонда к той или иной зоне является плотность загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$ , установленная на основании поквартального радиационного обследования лесов. При зонировании территорий лесного фонда выделяются четыре зоны радиоактивного загрязнения лесов – I–IV, а в пределах зоны I – подзоны IA и IB в целях более детальной регламентации лесохозяйственной деятельности.

К основной продукции леса, используемой человеком для употребления в пищу, относят грибы и ягоды (дары леса), а также мясо диких животных и птицы. Содержание радионуклидов в ней чаще всего значительно выше, чем в продуктах растениеводства и животноводства, производимых на той же территории.

Грибы могут накапливать  $^{137}\text{Cs}$  на 1–2 порядка больше, чем его концентрация в почве, и в десятки раз больше, чем растения, с которыми они находятся в симбиозе. Из минеральных элементов в плодовом теле грибов больше всего содержится калия (до 50 %), который является химическим аналогом цезия, поэтому грибы при обычно высоком дефиците калия в лесных почвах интенсивно начинают накапливать цезий. Причем следует отметить, что цезий накапливается грибами интенсивнее, чем калий.

На накопление  $^{137}\text{Cs}$  в грибах оказывают влияние почвенно-экологические условия лесного ценоза, плотность загрязнения почвы, видовые особенности, связанные с распределением мицелия в почвенном профиле. Межвидовые различия у грибов по его накоплению достигают 10 раз, внутривидовые – 4–5 раз. Минимальное накопление  $^{137}\text{Cs}$  наблюдается у грибов, относящихся к почвенным сапрофитам и

ксилофитам-паразитам, а максимальное накопление – у грибов, принадлежащих к группе микоризообразователей, которые имеют разную глубину расположения мицелия (от верхних слоев подстилки до глубины 50–60 см в минеральной почве). Микориза гриба формируется в микроразонах всасывающих корней симбиотических древесных растений, где повышена растворимость всех минеральных соединений и радионуклидов. Мелкие корни деревьев, через которые осуществляется всасывание, расположены в подстилке и верхнем 1–5-сантиметровом слое почвы, где сосредоточено до 90–95 %  $^{137}\text{Cs}$ . В настоящее время условно грибы по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  в плодовых телах разделяются на четыре группы:

1) *аккумуляторы*  $^{137}\text{Cs}$  – польский гриб, горькуша, краснушка, моховик желто-бурый, рыжик, масленок осенний, козляк, колпак кольчатый. В плодовых телах этих грибов уже при загрязнении почв, близком к фоновым значениям (3,7–7,4 кБк/м<sup>2</sup>, или 0,1–0,2 Ки/км<sup>2</sup>), содержание радионуклидов может превышать допустимые уровни;

2) *сильнонакапливающие радионуклиды* – подгруздок черный, лисичка желтая, волнушка розовая, груздь черный, зеленка;

3) *средненакапливающие радионуклиды* – опенок осенний, белый гриб, подосиновик, подберезовик, сыроежка обыкновенная;

4) *слабонакапливающие радионуклиды* – строчок обыкновенный, рядовка фиолетовая, шампиньон, дождевик шиповатый, сыроежка цельная и сыроежка буреющая, зонтик пестрый, опенок зимний, вешенка.

Сбор грибов, относящихся к 1-й и 2-й группе, допускается при плотности загрязнения почвы до 37 кБк/м<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup>). Сбор грибов, относящихся к 3-й и 4-й группе, допускается при плотности загрязнения почвы до 74 кБк/м<sup>2</sup> (2 Ки/км<sup>2</sup>). Однако если плотность загрязнения почвы достигает 37–74 кБк/м<sup>2</sup>, то использовать эти грибы в пищу можно только после радиационного контроля.

На накопление  $^{137}\text{Cs}$  грибами влияют режим увлажнения леса (на гидроморфных почвах коэффициенты накопления в 4 раза выше) и его содержание в почве (прямая зависимость).

Установлено, что в шляпках грибов накапливается в 1,5–3 раза больше  $^{137}\text{Cs}$ , чем в ножках. В молодых грибах содержание его выше, чем в старых, однако эта закономерность выявлена не для всех видов грибов.

Аналогично виды грибов распределяются по четырем группам и по накоплению  $^{90}\text{Sr}$ , однако коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в плодовое тело

грибов более чем в 100 раз ниже, чем  $^{137}\text{Cs}$ . Например, при одинаковой плотности загрязнения почвы у белого гриба коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  составляет 3,64, а  $^{90}\text{Sr}$  – всего 0,04.

Суточный рацион потребления грибов невелик, однако из-за высокого содержания радионуклидов в этой продукции вклад в формирование дозы внутреннего облучения может быть очень значителен. В ряде случаев, когда населенный пункт расположен вблизи леса, вклад грибов в формирование дозы внутреннего облучения человека может составлять до 65 %.

Рекомендации по сбору грибов для населения можно получить в лесхозах, лесничествах и в районных центрах гигиены и эпидемиологии. В газетах периодически публикуются специальные «грибные карты».

Согласно Правилам ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения сбор грибов, ягод и заготовка лекарственного сырья ведется в лесах при плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  до 74 кБ/м<sup>2</sup> (2 Ки/км<sup>2</sup>).

Загрязнение лесных грибов может быть поверхностным, когда радионуклиды находятся на поверхности плодовых тел, и структурным, когда они входят в структуру тканей, формирующих плодовые тела.

Для снижения содержания радионуклидов в грибах, предназначенных для употребления в пищу, используют несложные способы переработки. Перед приготовлением грибы тщательно очищают от почвенных частиц и пыли, растительного опада, травянистой растительности и мха, а также у отдельных видов грибов снимают кожицу со шляпок, промывают в холодной воде, режут на кусочки, укладывают в эмалированную посуду, заливают раствором поваренной соли: 30 г соли на 1 л воды. При кипячении в подсоленную воду следует добавить немного столового уксуса или лимонной кислоты, чтобы в первый отвар из тела гриба вышло побольше радионуклидов. Соотношение массы грибов и объема воды должно составлять 1:1 (т. е. на 1 кг грибов берется 1 л раствора). Грибы доводят до кипения, кипятят 10 мин, после чего раствор сливают. Затем грибы еще раз промывают в холодной воде, заливают свежим раствором и кипятят еще 20 мин. Затем раствор снова сливают, заменяют новым раствором и грибы кипятят еще 30 мин. Общее время кипячения должно составлять не менее 60 мин. Этот режим переработки снижает концентрацию радионуклидов в грибах в 100 раз и более. После такой обработки грибы можно жарить, солить, мариновать со специями.

При засолке грибов часть радионуклидов переходит в рассол, поэтому перед употреблением соленых грибов в пищу их обязательно следует промыть. При мариновании грибы отваривают 2 раза, отвары сливают, а затем заливают грибы кипящим маринадом. Допускается отваривание грибов по 15 мин с периодической сменой отвара в течение одного часа. При отваривании сыроежек, зеленков, рядовок и волнушек в течение 30 мин концентрация  $^{137}\text{Cs}$  снижается в 2–10 раз. Для снижения содержания цезия в 2–10 раз у трубчатых грибов (подберезовик, подосиновик, боровик) их необходимо отваривать 45–60 мин. Сушеные грибы также (дважды или трижды) отваривают и используют по назначению.

Лесные ягоды по способности накапливать  $^{137}\text{Cs}$  разделяются на три группы:

- 1) *сильнонакапливающие* – клюква, брусника, черника, голубика;
- 2) *средненакапливающие* – земляника, малина, ежевика;
- 3) *слабонакапливающие* – рябина, калина.

Собранные ягоды перед употреблением необходимо обязательно очистить от компонентов лесной подстилки, растительных остатков, мха, почвы и несколько раз промыть в проточной воде. В процессе очистки и мойки ягод концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в них снижается в 1,5–2 раза. При последующей переработке ягод – изготовлении варенья, джемов, повидла, конфитюров – происходит дальнейшее снижение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  за счет разбавления сырья другими компонентами (водой, сахаром, желатином, пектином и т. д.). Ягоды также перерабатывают на компоты, соки, сиропы, морсы.

В охотничьих угодьях с плотностью загрязнения почвы до  $185 \text{ кБк/м}^2$  ( $5 \text{ Ки/км}^2$ ) разрешается ведение охоты с выборочным радиационным контролем. Охоту разрешается проводить в лесных угодьях с плотностью загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  до  $555 \text{ кБк/м}^2$  ( $15 \text{ Ки/км}^2$ ). Вся продукция охотничьего промысла (мясо, пушнина, трофеи) подлежит обязательному радиационному контролю.

Виды диких животных по-разному накапливают радионуклиды в организме. По степени убывания концентрации радионуклидов в организме дикие животные распределяются в следующем порядке: волк < лиса < кабан < косуля < заяц < лось. Содержание радионуклидов в организме кабана и косули значительно выше, чем в организме зайца и лося. Это связано с биологическими особенностями животных и разным рационом их питания. В мясе кабанов и косули в возрасте от двух лет и старше содержится меньше  $^{137}\text{Cs}$ , чем в мясе молодых жи-

вотных. В мясе лося, наоборот, концентрация радионуклидов у молодых особей значительно меньше. Во внутренних органах распределение радионуклидов также неравномерно. Установлено, что в сердце, печени и легких концентрация также выше, чем в мясе.

Мясо диких птиц (из-за их миграции на большие расстояния) необходимо проверять на содержание радионуклидов даже при отстреле их на территории с плотностью загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  до  $37 \text{ кБк/м}^2$  ( $1 \text{ Ки/км}^2$ ). На территории с плотностью загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$   $555 \text{ кБк/м}^2$  ( $15 \text{ Ки/км}^2$ ) и более охота и вывоз охотничьих трофеев запрещены.

**Материалы и оборудование:** гамма-радиометр РКГ-АТ1320 (РКГ-01); емкости для промывания и отваривания грибов; нож; дуршлаг; весы лабораторные; грибы (свежие или сушеные), представленные одним видом или смесью видов; 3 л солевого раствора (30 г поваренной соли на 1 л воды).

### Выполнение работы

1. Подготовьте радиометр к работе.
2. Определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в неочищенных грибах и результат определения запишите в отчет (табл. 6.12).
3. Грибы очистите от всех видов загрязнений, промойте в проточной воде, уберите лишнюю влагу, отбросив грибы на сито, определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в них.
4. Проведите трехкратное отваривание грибов в емкости с солевым раствором:
  - первое отваривание (1-я обработка) сделайте в течение 10 мин, после чего отвар слейте, удалите лишнюю влагу, определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в грибах;
  - при 2-й обработке грибы промойте, залейте повторно солевым раствором и отварите в течение 20 мин, слейте воду, удалите влагу и определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в них;
  - при 3-й обработке грибы кипятите 30 мин, промойте, удалите влагу и определите содержание  $^{137}\text{Cs}$  в них.
5. Рассчитайте кратность очистки для каждого способа дезактивации.
6. Сделайте выводы об эффективности способов дезактивации грибов.

Таблица 6.12. Эффективность дезактивации грибов

№ п/п	Виды продукции, способы дезактивации	Содержание $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	Коэффициент очистки $K_{\text{оч}}$
1	Грибы неочищенные		
2	Грибы, очищенные и промытые в воде		
3	Грибы, отваренные в соленом растворе: 1-я обработка (10 мин) 2-я обработка (20 мин) 3-я обработка (30 мин)		

### Контрольные вопросы

1. По какому критерию производится зонирование территории лесного фонда?
2. Почему в продуктах питания лесного происхождения высокое содержание радионуклидов?
3. Какие факторы оказывают влияние на накопление  $^{137}\text{Cs}$  в грибах?
4. С чем связано высокое накопление  $^{137}\text{Cs}$  грибами?
5. Во сколько раз виды грибов различаются по накоплению  $^{137}\text{Cs}$ ?
6. Назовите виды грибов, обладающие минимальной и максимальной способностью накапливать  $^{137}\text{Cs}$ . Как это можно объяснить?
7. На сколько групп по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  в настоящее время разделяются виды грибов?
8. Какие виды грибов входят в 1-ю и 2-ю группу?
9. При какой плотности загрязнения почвы допускается сбор грибов, относящихся к 1-й и 2-й группе?
10. Какие виды грибов входят в 3-ю и 4-ю группу?
11. При какой плотности загрязнения почвы допускается сбор грибов, относящихся к 3-й и 4-й группе?
12. Расскажите о влиянии почвенно-экологических условий на накопление  $^{137}\text{Cs}$  грибами.
13. Какой радионуклид,  $^{137}\text{Cs}$  или  $^{90}\text{Sr}$ , в больших количествах накапливают грибы и почему?
14. В каких населенных пунктах в рацион питания человека включается много грибов, ягод, а также мяса диких животных?
15. Где можно получить рекомендации по сбору грибов и ягод?
16. Назовите типы загрязнения грибов.
17. Какие способы, направленные на снижение содержания радионуклидов в грибах, вы знаете?

18. Какие способы дезактивации грибов наиболее эффективны и почему?

19. Какие результаты были получены при выполнении лабораторной работы?

20. При какой плотности загрязнения почв допускается сбор грибов и заготовка ягод в лесах?

21. Как лесные ягоды классифицируются по способности накапливать  $^{137}\text{Cs}$ ?

22. Назовите основные приемы механической дезактивации ягод.

23. При каких технологических приемах и за счет чего снижается содержание  $^{137}\text{Cs}$  в конечных продуктах переработки ягод?

24. При какой плотности загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  разрешается охота на диких животных в лесах?

25. В каком порядке распределяются дикие животные по концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в организме?

26. Как  $^{137}\text{Cs}$  распределяется и накапливается в организме и органах диких животных?

27. При какой плотности загрязнения почв запрещен сбор ягод и охота на диких животных в лесах?

Приложение 1

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)

№ п/п	Наименование продукта	Бк/кг (Бк/л)
1	2	3
$^{137}\text{Cs}$		
1	Вода питьевая	10
2	Молоко и цельномолочная продукция	100
3	Молоко сгущенное и концентрированное	200
4	Творог и творожные изделия	50
5	Сыры сычужные и плавленые	50
6	Масло коровье	100
7	Мясо и мясные продукты	
	В том числе:	
	говядина, баранина и продукты из них	500
	свинина, птица и продукты из них	180
8	Картофель	80
9	Хлеб и хлебобулочные изделия	40

Окончание прил.12

1	2	3
10	Мука, крупы, сахар	60
11	Жиры растительные	40
12	Жиры животные и маргарин	100
13	Овощи и корнеплоды	100
14	Фрукты	40
15	Садовые ягоды	70
16	Консервированные продукты из овощей, фруктов и ягод	74
17	Дикорастущие ягоды и консервированные продукты из них	185
18	Грибы свежие	370
19	Грибы сушеные	2500
20	Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	37
21	Прочие продукты питания	370
$^{90}\text{Sr}$		
22	Вода питьевая	0,37
23	Молоко и цельномолочная продукция	3,7
24	Хлеб и хлебобулочные изделия	3,7
25	Картофель	3,7
26	Специализированные продукты детского питания в готовом для употребления виде	1,85

Приложение 2

Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в сельскохозяйственном сырье и кормах

Продукция	Содержание, Бк/кг	
	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
Молоко для переработки:		
на сливочное масло	370	18
цельномолочные продукты, сыры и творог	100	3,7
молоко сухое и концентрированное	30	3,7
Мясо:		
говядина, баранина	500	Не нормируется
свинина, птица	180	То же
Растительное сырье:		
овощи	100	»
фрукты	40	»
садовые ягоды	70	»
Зерно	90	11
Зерно на детское питание	55	3,7
Прочее сырье	370	Не нормируется

Прием, хранение и использование для посева семян зерновых, зернобобовых, крестоцветных культур, однолетних и многолетних трав разрешается с содержанием <sup>137</sup>Cs до 1850 Бк/кг.

Прием семян рапса для переработки на продовольственные и технические цели допускается с содержанием <sup>137</sup>Cs до 1500 Бк/кг.

Для переработки на спирт допускается использование сырья с содержанием <sup>137</sup>Cs до 3700 Бк/кг.

Допустимые уровни содержания <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в основных видах кормов предусмотрены для получения различных видов конечной продукции:

- цельного молока (и молока-сырья для переработки на сыры и творог);
- молока-сырья для переработки на масло;
- мяса говядины и баранины (заключительная стадия откорма).

Виды кормов	Содержание, Бк/кг				
	<sup>137</sup> Cs			<sup>90</sup> Sr	
	Мо- ло- ко це- ль- ное	Мо- ло- ко- сы- рье для пе- ре- ра- бот- ки на ма- сло	Мя- со (за- к- лю- чи- тель- ный от- корм)	Мо- ло- ко це- ль- ное	Мо- ло- ко- сы- рье для пе- ре- ра- бот- ки на ма- сло
Сено	1300	1850	1300	260	1300
Солома	330	900	700	185	900
Сенаж	500	900	500	100	500
Силос	240	600	240	50	250
Корнеплоды	160	600	300	37	185
Зерно на фураж, комби- корм	180	600	480	100	500
Зеленая масса	165	600	240	37	185
Хвойная, травяная мука, дробина пивная, жом, патока, барда, мясокост- ная мука	900	-	-	-	-
Мезга, молочные про- дукты (обрат)	600	-	-	-	-
Прочие виды кормов	900				

**Средние значения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  (нКи/кг:Ки/км<sup>2</sup> или Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>)  
в продукцию растениеводства в зависимости от обеспеченности  
дерново-подзолистых почв обменным калием Республики Беларусь**

Культуры	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
<b>Для дерново-подзолистых супесчаных почв</b>					
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>					
Овес	0,22	0,082	0,055	0,041	0,032
Озимая рожь	0,036	0,028	0,019	0,017	0,010
Озимое тритикале	0,050	0,030	0,020	0,020	0,010
Озимая пшеница	–	–	0,028	0,018	0,010
Яровая пшеница	–	–	0,036	0,020	0,017
Ячмень	0,063	0,053	0,043	0,029	0,027
Люпин	0,55	0,50	0,40	0,36	0,33
Горох	0,51	0,45	0,35	0,28	0,18
Вика	0,27	0,23	0,19	0,15	0,13
Рапс яровой	–	0,25	0,19	0,14	0,12

Продолжение прил. 4

Культуры	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	20–300	>300
Просо	–	–	0,10	0,067	0,047
Кукуруза	–	–	0,057	0,041	0,026
<b>Солома (влажность 20 %)</b>					
Овес	0,40	0,12	0,058	0,045	0,028
Озимая рожь	0,093	0,062	0,040	0,037	0,022
Озимое тритикале	0,15	0,10	0,080	0,050	0,030
Озимая пшеница	–	–	0,091	0,060	0,033
Яровая пшеница	–	–	0,072	0,22	0,023
Ячмень	0,12	0,088	0,054	0,049	0,046
<b>Сено (влажность 16 %)</b>					
Клевер	0,93	0,65	0,47	0,39	0,34
Многолетние злаковые травы	2,0	1,4	0,68	0,55	0,46
Многолетние злаково-бобовые смеси	1,1	0,81	0,56	0,44	0,38
Естественные сенокосы	2,7	1,9	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	3,0	2,1	1,6	1,4	1,3
Клевер	0,50	0,35	0,25	0,21	0,18
Многолетние злаковые травы	1,1	0,77	0,37	0,30	0,25
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,60	0,44	0,30	0,24	0,21
Естественные сенокосы	1,43	1,0	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	1,58	1,13	0,87	0,75	0,71

<b>Силос (влажность 75 %)</b>					
Клевер	0,28	0,19	0,14	0,12	0,10
Многолетние злаковые травы	0,59	0,43	0,20	0,16	0,14
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,33	0,24	0,17	0,13	0,11
Горохо-овсяная смесь	0,22	0,17	0,13	0,069	0,069
Вико-овсяная смесь	0,13	0,082	0,063	0,050	0,038
Естественные сенокосы	0,79	0,57	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,88	0,63	0,49	0,42	0,39
Кукуруза	–	–	0,080	0,061	0,043
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>					
Клевер	0,20	0,14	0,10	0,083	0,073
Многолетние злаковые травы	0,43	0,31	0,15	0,12	0,099
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,24	0,17	0,12	0,094	0,082
Горохо-овсяная смесь	0,16	0,12	0,090	0,050	0,050
Вико-овсяная смесь	0,090	0,059	0,045	0,036	0,028
Естественные сенокосы	0,57	0,41	–	–	–

Продолжение прил. 4

Культуры	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,63	0,45	0,35	0,30	0,28
Кукуруза	–	–	0,057	0,044	0,031
Люпин	–	–	0,20	0,16	0,13
Рапс яровой	–	0,22	0,15	0,082	0,058
Горох	–	0,11	0,098	0,062	0,043
Рапс озимый	–	–	0,034	0,022	0,012
Галега восточная	–	0,050	0,040	0,030	0,025
Пайза	–	–	0,060	0,050	0,050
Сорго	0,080	0,060	0,050	0,040	0,040
Люцерна	0,13	0,10	0,080	0,060	0,060
Лядвенец рогатый	–	0,16	0,12	0,080	0,060
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>					
Картофель	–	0,056	0,038	0,027	0,018
Свекла	–	–	0,040	0,025	0,016
Морковь	–	–	0,030	0,022	0,010
Капуста	–	–	0,033	0,025	0,012
Лук репчатый (луковица)	–	–	0,042	0,036	0,025
<b>Для дерново-подзолистых песчаных почв</b>					
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>					
Овес	0,33	0,10	0,080	0,070	0,050
Озимая рожь	0,050	0,040	0,030	0,030	0,010
Озимое тритикале	–	0,040	0,030	0,030	0,020
Ячмень	0,090	0,080	0,070	0,040	0,040

Люпин	0,79	0,74	0,59	0,52	0,48
Горох	0,72	0,66	0,53	0,40	0,21
Вика	0,39	0,34	0,29	0,21	0,18
Рапс яровой	–	0,33	0,27	0,20	0,17
Просо	–	–	0,15	0,091	0,055
Кукуруза	–	–	0,09	0,064	0,033
<b>Солома (влажность 20 %)</b>					
Овес	0,68	0,16	0,080	0,070	0,040
Озимая рожь	0,12	0,080	0,050	0,050	0,030
Озимое тритикале	–	0,120	0,090	0,060	0,030
Ячмень	0,16	0,12	0,070	0,070	0,070
<b>Сено (влажность 16 %)</b>					
Многолетние злаковые травы	3,0	2,6	0,97	0,94	0,84
Многолетние злаково-бобовые смеси	1,5	1,2	0,81	0,60	0,56
Естественные сенокосы	4,0	2,6	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	4,9	4,4	2,9	2,1	1,9

Продолжение прил. 4

Культуры	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>					
Многолетние злаковые травы	1,6	1,4	0,52	0,50	0,45
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,82	0,62	0,43	0,33	0,30
Естественные сенокосы	2,1	1,4	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	2,6	2,4	1,5	1,1	1,0
<b>Силос (влажность 75 %)</b>					
Многолетние злаковые травы	0,90	0,76	0,29	0,28	0,25
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,46	0,34	0,25	0,18	0,17
Горохо-овсяная смесь	0,22	0,14	0,12	0,090	0,090
Вико-овсяная смесь	0,18	0,10	0,090	0,80	0,070
Естественные сенокосы	1,1	0,78	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	1,5	1,3	0,85	0,63	0,57
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>					
Многолетние злаковые травы	0,65	0,55	0,21	0,20	0,18
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,33	0,25	0,17	0,13	0,12
Горохо-овсяная смесь	0,16	0,10	0,080	0,070	0,070
Вико-овсяная смесь	0,13	0,080	0,070	0,050	0,040
Естественные сенокосы	0,83	0,56	–	–	–
Многолетние злаковые травы	0,63	0,95	0,62	0,45	0,41

на пойменных землях					
Кукуруза	–	0,070	0,070	0,050	0,040
Люпин	–	0,29	0,25	–	–
Рапс яровой	0,29	0,26	0,22	0,16	0,13
Горох	–	0,17	0,16	0,12	0,12
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>					
Картофель	–	0,080	0,057	0,040	0,022
Свекла	–	–	0,060	0,038	0,024
Морковь	–	–	0,045	0,030	0,016
Капуста	–	–	0,070	0,042	0,017
Лук репчатый (луковица)	–	–	0,062	0,050	0,035
<b>Для дерново-подзолистых суглинистых почв</b>					
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>					
Овес	0,18	0,060	0,040	0,040	0,030
Озимая рожь	0,030	0,020	0,010	0,010	0,010
Озимое тритикале	–	0,020	0,020	0,010	0,010
Озимая пшеница	–	–	0,020	0,010	0,010
Яровая пшеница	–	–	0,030	0,010	0,010
Ячмень	0,050	0,040	0,040	0,020	0,02

Продолжение прил. 4

Культуры	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
Люпин	0,43	0,40	0,32	0,28	0,26
Горох	0,39	0,36	0,29	0,22	0,11
Вика	0,21	0,18	0,15	0,11	0,10
Рапс яровой	–	0,18	0,15	0,11	0,090
Просо	–	–	0,08	0,05	0,040
Кукуруза	–	–	0,08	0,04	0,030
<b>Солома (влажность 20 %)</b>					
Овес	0,36	0,080	0,040	0,040	0,020
Озимая рожь	0,060	0,040	0,030	0,030	0,010
Озимое тритикале	–	0,080	0,060	0,040	0,020
Озимая пшеница	–	–	0,060	0,040	0,020
Яровая пшеница	–	–	0,050	0,040	0,010
Ячмень	0,080	0,060	0,040	0,040	0,040
<b>Сено (влажность 16 %)</b>					
Клевер	0,62	0,49	0,36	0,29	0,26
Многолетние злаковые травы	1,4	1,1	0,47	0,40	0,35
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,83	0,62	0,44	0,32	0,30
Естественные сенокосы	2,1	1,7	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	2,7	2,0	1,4	1,1	0,98
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>					
Клевер	0,34	0,27	0,19	0,15	0,14
Многолетние злаковые травы	0,76	0,60	0,25	0,22	0,19

Многолетние злаково-бобовые смеси	0,44	0,34	0,23	0,18	0,16
Естественные сенокосы	1,1	0,89	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	1,5	1,1	0,76	0,61	0,53
<b>Силос (влажность 75 %)</b>					
Клевер	0,18	0,15	0,11	0,080	0,080
Многолетние злаковые травы	0,42	0,33	0,14	0,12	0,11
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,25	0,18	0,13	0,1	0,09
Горохо-овсяная смесь	0,12	0,080	0,060	0,050	0,050
Вико-овсяная смесь	0,10	0,060	0,050	0,040	0,040
Естественные сенокосы	0,62	0,5	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,80	0,60	0,42	0,34	0,29
Кукуруза	–	–	0,060	0,040	0,030
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>					
Клевер	0,13	0,11	0,080	0,060	0,060
Многолетние злаковые травы	0,31	0,24	0,10	0,080	0,080

Окончание прил. 4

Культуры	Содержание обменного калия, мг/кг почвы				
	<80	81–140	141–200	201–300	>300
Многолетние злаково-бобовые смеси	0,18	0,13	0,090	0,070	0,060
Горохо-овсяная смесь	0,080	0,060	0,040	0,040	0,040
Вико-овсяная смесь	0,070	0,040	0,040	0,030	0,020
Естественные сенокосы	0,45	0,36	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	0,58	0,43	0,30	0,24	0,21
Кукуруза	–	–	0,04	0,030	0,020
Люпин	–	0,15	0,13	0,11	0,10
Рапс яровой	–	0,14	0,12	0,080	0,070
Горох	–	0,090	0,080	0,060	0,060
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>					
Картофель	–	0,048	0,033	0,024	0,015
Свекла	–	0,055	0,037	0,022	0,014
Морковь	–	0,050	0,028	0,019	0,08
Капуста	–	0,042	0,030	0,021	0,010
Лук репчатый (луковица)	–	0,051	0,036	0,032	0,023

Приложение 5

**Средние значения коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs (К<sub>п</sub>, Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>)  
для торфяных почв Республики Беларусь**

Тип травостоя	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы
---------------	---

	<200	201–400	401–600	601–1000
<b>Мощность торфяного слоя менее 1 м</b>				
<b>Зерно (влажность 16 %)</b>				
Овес	0,9	0,7	0,6	0,5
Ячмень	0,7	0,6	0,5	0,3
Пшеница яровая	0,7	0,5	0,4	0,3
Рожь озимая	0,4	0,2	0,1	0,04
Тритикале озимое	0,7	0,5	0,4	0,3
Тритикале яровое	0,5	0,3	0,2	0,1
<b>Сено (влажность 16%)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	10,2	7,3	4,8	2,5
Сеяный многолетний злаковый	7,6	3,9	2,6	1,8
Сеяный многолетний бобово-злаковый	2,7	1,9	1,3	–
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	5,5	3,9	2,6	1,3
Сеяный многолетний злаковый	4,1	2,1	1,4	1,0

Тип травостоя	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы			
	<200	201–400	401–600	601–1000
Сеяный многолетний бобово-злаковый	1,4	1,0	0,7	–
<b>Силос (влажность 75 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	3,0	2,2	1,4	0,7
Сеяный многолетний злаковый	2,3	1,7	0,8	0,5
Сеяный многолетний бобово-злаковый	0,8	0,7	0,4	–
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	2,2	1,6	1,0	0,5
Сеяный многолетний злаковый	1,6	0,8	0,6	0,4
Сеяный многолетний бобово-злаковый	0,6	0,4	0,3	–
<b>Мощность торфяного слоя более 1 м</b>				
<b>Сено (влажность 16 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	22	19	12	7
Сеяный многолетний злаковый	4,8	1,8	0,6	0,4
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	12	9,9	6,3	3,7
Сеяный многолетний злаковый	2,6	0,94	0,3	0,2
<b>Силос (влажность 75 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	6,4	5,5	3,5	2,1
Сеяный многолетний злаковый	1,4	0,5	0,2	0,1
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>				
Естественный злаково-разнотравный	4,6	4,0	2,5	1,5
Сеяный многолетний злаковый	1,0	0,4	0,13	0,08

## Приложение 6

**Средние значения коэффициентов перехода  $^{90}\text{Sr}$  ( $K_d$ , Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>) для дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь**

Культуры	Уровень кислотности почвы pH <sub>(КС)</sub>					
	<4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	>7,0
<b>Для дерново-подзолистых супесчаных почв</b>						
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>						
Овес	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
Озимая рожь	1,0	0,84	0,79	0,72	0,69	0,61
Озимое тритикале	–	1,32	1,15	0,91	0,75	0,58
Озимая пшеница	–	–	1,1	1,0	0,89	0,85
Яровая пшеница	–	–	1,1	1,1	0,88	0,81
Ячмень	–	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2
Люпин	–	4,0	3,4	3,0	2,8	2,6
Горох	–	2,4	1,8	1,6	1,5	1,4
Вика	–	2,1	1,6	1,5	1,4	1,3
Рапс яровой	–	5,4	1,4	1,3	1,2	1,2
Просо	–	0,83	0,61	0,44	0,33	0,28

Культуры	Уровень кислотности почвы pH <sub>(КС)</sub>					
	<4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	>7,0
Кукуруза	–	0,64	0,43	0,28	0,20	0,17
<b>Солома (влажность 20 %)</b>						
Овес	5,6	4,9	4,2	3,8	3,7	3,4
Озимая рожь	5,3	4,7	4,1	3,7	3,6	3,4
Озимое тритикале	–	5,6	5,0	4,5	4,4	4,3
Озимая пшеница	–	–	5,4	5,1	4,4	4,1
Яровая пшеница	–	–	5,7	5,2	4,3	3,9
Ячмень	–	6,0	5,7	5,2	4,9	4,6
<b>Сено (влажность 16 %)</b>						
Клевер	–	–	22	18	14	11
Многолетние злаковые травы	12	10	8,9	7,6	6,9	5,4
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	19	16	13	11	8,5
Естественные сенокосы	17	13	11	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	24	21	18	15	14	10
Лядвенец рогатый	–	8,3	5,8	5,3	4,9	3,1
Галега восточная	–	19	16	14	9,5	5,3
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>						
Клевер	–	–	12	9,4	7,6	5,6
Многолетние злаковые травы	6,6	5,6	4,8	4,1	3,7	2,9
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	10	8,4	7,1	6,0	4,5
Естественные сенокосы	9,0	6,8	5,7	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	13	11	9,5	8,1	7,3	5,5
<b>Силос (влажность 75 %)</b>						
Клевер	–	–	6,4	5,2	4,2	3,1
Многолетние злаковые травы	3,7	3,1	2,7	2,3	2,1	1,6
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	5,6	4,7	3,9	3,3	2,5
Горохо-овсяная смесь	–	3,6	3,2	2,7	2,3	1,7
Вико-овсяная смесь	–	3,5	3,2	2,7	2,1	1,6
Естественные сенокосы	5,0	3,8	3,1	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	7,1	6,1	5,3	4,5	4,1	3,1
Кукуруза	–	2,8	2,2	1,8	1,2	0,70
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>						
Клевер	–	–	4,6	3,8	3,1	2,3
Многолетние злаковые травы	2,6	2,2	1,9	1,6	1,5	1,2
Многолетние бобово-злаковые смеси	–	4,0	3,4	2,8	2,4	1,8
Горохо-овсяная смесь	–	2,6	2,3	2,0	1,6	1,3

## Продолжение прил. 6

Культуры	Уровень кислотности почвы pH <sub>(КС)</sub>					
	<4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	>7,0
Вико-овсяная смесь	–	2,6	2,3	2,0	1,6	1,1
Естественные сенокосы	3,6	2,7	2,3	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	5,1	4,4	3,8	3,2	2,9	2,2
Кукуруза	–	2,0	1,6	1,3	0,88	0,52
Люпин	–	5,8	4,8	3,8	2,9	1,7
Рапс яровой	–	2,8	2,3	2,0	1,7	1,5
Горох	–	5,4	4,5	3,6	2,6	1,6
Вика	–	4,0	3,6	3,0	1,8	1,4
Лядвенец рогатый	–	1,8	1,2	1,1	1,1	0,66
Галега восточная	–	4,0	3,5	2,9	2,0	1,1
Пайза	–	3,4	2,8	2,6	1,6	–
Сорго	–	3,9	3	2,7	1,5	–
Люцерна	–	5,2	4,5	4,1	3,5	–
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>						
Картофель	0,4	0,3	0,25	0,2	0,1	0,1
Свекла	1,4	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5
Морковь	–	–	–	1,2	1,0	0,8
Капуста	–	–	–	0,7	0,5	0,4
Лук репчатый (луковица)	–	–	–	–	0,4	0,3
<b>Для дерново-подзолистых песчаных почв</b>						
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>						
Овес	2,1	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Озимая рожь	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,70
Озимое тритикале	–	–	1,2	1,1	1,0	0,72
Ячмень	2,7	2,2	1,9	1,8	1,7	1,6
Люпин	–	7,3	5,7	5,0	4,7	4,6
Горох	–	4,3	2,9	2,7	2,5	2,5
Вика	–	3,9	2,5	2,5	2,4	2,4
Рапс яровой	–	9,8	7,5	6,6	5,7	5,7
Просо	–	1,3	1,0	0,70	0,55	0,45
Кукуруза	–	1,0	0,70	0,45	0,32	0,30
<b>Солома (влажность 20 %)</b>						
Овес	7,7	6,7	6,0	5,5	5,3	5,1
Озимая рожь	7,4	6,6	5,9	5,3	4,9	4,4
Озимое тритикале	–	–	5,8	5,2	4,8	4,5
Ячмень	8,9	8,7	7,7	6,8	6,1	5,8
<b>Сено (влажность 16 %)</b>						
Многолетние злаковые травы	21	19	16	13	13	8,9
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	32	29	22	18	14
Естественные сенокосы	25	20	18	–	–	–

## Продолжение прил. 6

Культуры	Уровень кислотности почвы pH <sub>(КС)</sub>					
	<4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	>7,0
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	38	34	29	23	22	15
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>						
Многолетние злаковые травы	11	10	8,6	7,1	6,7	4,8
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	17	15	12	9,8	7,5
Естественные сенокосы	13	11	9,5	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	20	18	15	13	12	8,1
<b>Силос (влажность 75 %)</b>						
Многолетние злаковые травы	6,1	5,5	4,8	3,9	3,7	2,7
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	9,5	8,5	6,6	5,4	4,1
Горохо-овсяная смесь	–	7,9	6,7	5,5	4,3	2,9
Вико-овсяная смесь	–	6,1	5,7	5,0	3,6	2,5
Естественные сенокосы	7,3	6,0	5,3	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	11	10	8,5	7,0	6,6	4,5
Кукуруза	–	3,6	3,0	2,6	1,5	1,0
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>						
Многолетние злаковые травы	4,4	4,0	3,4	2,8	2,7	1,9
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	6,9	6,1	4,8	3,9	3,0
Горохо-овсяная смесь	–	5,7	4,8	4,0	3,1	2,1
Вико-овсяная смесь	–	4,4	4,1	3,6	2,6	1,8
Естественные сенокосы	5,3	4,3	3,8	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	8,1	7,3	6,1	5,0	4,7	3,2
Кукуруза	–	2,6	2,2	1,9	1,2	0,70
Люпин	–	10	8,8	6,8	5,0	2,9
Рапс яровой	–	5,1	3,8	3,35	2,9	2,7
Горох	–	9,7	8,2	6,6	4,3	2,8
Вика	–	7,0	6,8	5,8	2,6	2,4
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>						
Картофель	0,6	0,45	0,36	0,32	0,20	0,15
Свекла	2,1	1,82	1,40	1,18	0,90	0,72
Морковь	–	–	–	2,00	1,45	1,22
Капуста	–	–	–	1,05	0,72	0,65
Лук репчатый (луковица)	–	–	–	1,42	0,90	0,55
<b>Для дерново-подзолистых суглинистых почв</b>						
<b>Зерно (влажность 14 %)</b>						
Овес	1,7	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1
Озимая рожь	1,0	1,0	0,87	0,81	0,73	0,64

Продолжение прил. 6

Культуры	Уровень кислотности почвы pH <sub>(КС)</sub>					
	<4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	>7,0
Озимое тритикале	–	–	1,0	0,85	0,68	0,52
Озимая пшеница	–	–	1,2	1,1	0,89	0,78
Яровая пшеница	–	–	1,1	1,1	0,81	0,79
Ячмень	–	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2
Люпин	–	3,9	3,1	2,7	2,5	2,5
Горох	–	2,3	1,6	1,4	1,4	1,3
Вика	–	2,1	1,4	1,3	1,3	1,3
Рапс яровой	–	5,3	4,1	3,6	3,1	3,1
Просо	–	0,75	0,55	0,40	0,30	0,25
Кукуруза	–	0,58	0,38	0,25	0,18	0,15
<b>Солома (влажность 20 %)</b>						
Овес	5,3	5,3	4,9	4,4	4,3	4,2
Озимая рожь	5,9	5,5	4,7	4,2	3,7	3,3
Озимое тритикале	–	–	4,8	4,3	3,8	3,3
Озимая пшеница	–	–	4,6	4,54	3,6	3,6
Яровая пшеница	–	–	5,0	4,6	3,5	3,5
Ячмень	–	5,8	5,0	4,9	4,7	4,6
<b>Сено (влажность 16 %)</b>						
Клевер	–	–	29	21	15	13
Многолетние злаковые травы	14	11	10	8,6	7,8	5,8
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	23	19	14	12	9,6
Естественные сенокосы	17	12	10	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	20	18	15	13	12	8,1
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>						
Клевер	–	–	16	11	8,3	7,2
Многолетние злаковые травы	7,5	6,1	5,1	4,6	4,2	3,1
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	12	10	7,8	6,2	5,2
Горохо-овсяная смесь	–	7,7	6,5	5,4	4,2	2,8
Вико-овсяная смесь	–	5,9	5,5	4,8	3,5	2,5
Естественные сенокосы	8,8	6,6	5,4	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	11	10	8,2	6,7	6,4	4,4
<b>Силос (влажность 75 %)</b>						
Клевер	–	–	8,7	6,2	4,6	4,0
Многолетние злаковые травы	4,1	3,4	2,8	2,6	2,3	1,7
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	6,8	5,6	4,3	3,5	2,9
Горохо-овсяная смесь	–	4,3	3,6	3,0	2,3	1,6
Вико-овсяная смесь	–	3,3	3,1	2,7	1,9	1,4

Культуры	Уровень кислотности почвы pH <sub>(КС)</sub>					
	<4,5	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–7,0	>7,0
Естественные сенокосы	4,9	3,7	3,0	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	6,1	5,4	4,6	3,7	3,5	2,4
Кукуруза	–	1,9	1,6	1,4	0,79	0,53
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>						
Клевер	–	–	6,26	4,4	3,3	2,9
Многолетние злаковые травы	3,0	2,4	2,0	1,8	1,7	1,3
Многолетние злаково-бобовые смеси	–	4,9	4,0	3,1	2,5	2,1
Горохо-овсяная смесь	–	3,1	2,6	2,1	1,7	1,1
Вико-овсяная смесь	–	2,4	2,2	1,9	1,4	0,99
Естественные сенокосы	3,5	2,6	2,2	–	–	–
Многолетние злаковые травы на пойменных землях	4,4	3,9	3,3	2,7	2,6	1,7
Кукуруза	–	1,4	1,2	1,0	0,57	0,38
Люпин	–	9,6	4,7	3,7	2,7	1,6
Рапс яровой	–	2,7	2,0	1,8	1,5	1,5
Горох	–	5,2	4,4	3,6	2,3	1,5
Вика	–	3,8	3,7	3,1	1,4	1,3
<b>Картофель, овощи (влажность 78–87 %)</b>						
Картофель	0,3	0,28	0,23	0,20	0,10	0,08
Свекла	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4
Морковь	–	–	1,3	1,0	0,9	0,7
Капуста	–	–	0,8	0,6	0,4	0,3
Лук репчатый (луковица)	–	–	0,6	0,4	0,3	0,2

## Приложение 7

**Средние значения коэффициентов перехода <sup>90</sup>Sr (К<sub>n</sub>, Бк/кг:кБк/м<sup>2</sup>)  
для торфяных почв Республики Беларусь**

Тип травостоя	Уровень кислотности почвы pH <sub>(КС)</sub>		
	4,51–5,00	5,01–5,50	5,51–6,00
<b>Мощность торфяного слоя менее 1 м</b>			
<b>Зерно (влажность 16 %)</b>			
Овес	0,8	0,6	0,5
Ячмень	0,7	0,6	0,5
Пшеница яровая	0,5	0,4	0,3
Рожь озимая	0,6	0,5	0,4
Тритикале озимое	1,0	0,6	0,3
Тритикале яровое	0,8	0,5	0,2
<b>Сено (влажность 16 %)</b>			
Естественный злаково-разнотравный	5,2	3,8	2,6

Тип травостоя	Уровень кислотности почвы рН <sub>(КС)</sub>		
	4,51–5,00	5,01–5,50	5,51–6,00
Сеяный многолетний злаковый	3,7	2,4	1,9
Сеяный многолетний бобово-злаковый	6,8	5,5	3,2
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>			
Естественный злаково-разнотравный	2,8	2,0	1,4
Сеяный многолетний злаковый	2,0	1,3	1,0
Сеяный многолетний бобово-злаковый	3,7	2,9	1,7
<b>Силос (влажность 75 %)</b>			
Естественный злаково-разнотравный	1,5	1,1	0,8
Сеяный многолетний злаковый	1,1	0,7	0,6
Сеяный многолетний бобово-злаковый	2,0	1,6	1,0
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>			
Естественный злаково-разнотравный	1,1	0,8	0,6
Сеяный многолетний злаковый	0,8	0,5	0,4
Сеяный многолетний бобово-злаковый	1,5	1,2	0,7
<b>Мощность торфяного слоя более 1 м</b>			
<b>Сено (влажность 16 %)</b>			
Естественный злаково-разнотравный	17	4,4	3,2
Сеяный многолетний злаковый	3,4	3,0	2,6
<b>Сенаж (влажность 55 %)</b>			
Естественный злаково-разнотравный	9,2	2,4	1,7
Сеяный многолетний злаковый	1,8	1,6	1,4
<b>Силос (влажность 75 %)</b>			
Естественный злаково-разнотравный	5,1	1,3	1,0
Сеяный многолетний злаковый	1,0	0,91	0,76
<b>Зеленая масса (влажность 82 %)</b>			
Естественный злаково-разнотравный	3,7	0,95	0,69
Сеяный многолетний злаковый	0,73	0,65	0,55