

Приложение 3
к Материалам комплексного экологического
обследования, обосновывающим установление
границ и площадей земельных участков
Семипалатинской зоны ядерной безопасности

Методическое обеспечение работ по комплексному экологическому обследованию

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

1.1 Определение площадной активности радионуклидов в верхнем слое почвы

1.1.1 Подготовка проб верхнего слоя почвы к определению содержания радионуклидов

1.1.1.1 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Пробу высушивали до воздушно-сухого состояния.

Крупные почвенные конгломераты в пробе разбивали до размеров небольших комков. Затем, пробу просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм.

После этого, методом квадратирувания из общей пробы отбирали усредненную навеску массой 500–900 г.

Усредненную навеску помещали в специальную измерительную емкость и передавали на измерения.

1.1.1.2 Предварительная подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$

Из воздушно-сухого образца отбиралась навеска массой 150 г методом квадратирувания.

Образец истирался на лабораторной мельнице до порошкообразного состояния.

Из истертого образца после гомогенизации отбиралась навеска массой 60-70 г.

Образец прокаливался в течение 8 часов в муфельной печи при 550°C для удаления органического вещества.

Из прокаленного образца после гомогенизации отбиралась навеска массой 10 г для дальнейшей подготовки к определению содержания ^{90}Sr и 50 г – для определения содержания $^{239+240}\text{Pu}$.

1.1.1.3 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr

В образец вносился раствор стабильного стронция. Далее, образец обрабатывали при нагревании 6М раствором HCl , с добавлением небольшого количества H_2O_2 для извлечения изотопов стронция в раствор.

Радиохимическая очистка и выделение изотопов стронция из кислотного выщелата проводилась путем последовательного осаждения коллекторов (гидроксида железа и карбоната стронция). Фракция, содержащая выделенные изотопы стронция, выдерживалась в течение двух недель для накопления дочернего радионуклида – ^{90}Y .

После достижения радиоактивного равновесия иттрий отделялся от материнского радионуклида осаждением в виде гидроксида $\text{Y}(\text{OH})_3$, переводился в 1М солянокислый раствор и переносился в полиэтиленовую вialу для последующего измерения активности ^{90}Y на жидко-сцинтилляционном спектрометре.

1.1.1.4 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$

В подготовленную навеску почвы вносили изотопную метку ^{242}Pu . Далее обрабатывали при нагревании концентрированными растворами фтористоводородной и азотной кислот и их смесями до полного растворения почвенной матрицы и перевода изотопов плутония в растворенное состояние. Далее стабилизировали изотопы плутония в IV-валентном состоянии и пропускали через ионообменные колонки, заполненные сильноосновным анионитом для удаления макро-, микроэлементов и альфа-излучателей. Изотопы плутония выделяли из раствора на диски из нержавеющей стали с помощью электролизной установки и передавали на альфа-спектрометрические измерения.

1.1.2 Определение содержания радионуклидов в пробах верхнего слоя почвы

1.1.2.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine» [1].

Время экспозиции проб составляло от 2 до 8 часов, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}Am составляло 0,1 Бк/кг.

1.1.2.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью сцинтилляционных бета-спектрометров согласно методике измерений активности радионуклидов [2].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

1.1.2.3 Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров согласно методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [2].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

1.2 Определение содержания радионуклидов по глубине почвенного профиля

Каждый слой послойной пробы почвы проходил подготовку к измерениям и измерялся как отдельная проба.

1.2.1 Подготовка послойных проб почвы к определению содержания радионуклидов

1.2.1.1 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Пробу высушивали до воздушно-сухого состояния.

Крупные почвенные конгломераты в пробе разбивали до размеров небольших комков. Затем, пробу просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм.

После этого, методом квадратирования из общей пробы отбирали усредненную навеску массой 500–900 г.

Усредненную навеску помещали в специальную измерительную емкость и передавали на измерения.

1.2.1.2 Предварительная подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$

Из воздушно-сухого образца отбиралась навеска массой 150 г методом квадратирувания.

Образец истирался на лабораторной мельнице до порошкообразного состояния.

Из истертого образца после гомогенизации отбиралась навеска массой 60-70 г.

Образец прокаливался в течение 8 часов в муфельной печи при 550°C для удаления органического вещества.

Из прокаленного образца после гомогенизации отбиралась навеска массой 10 г для дальнейшей подготовки к определению содержания ^{90}Sr и 50 г – для определения содержания $^{239+240}\text{Pu}$.

1.2.1.3 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr

В образец вносился раствор стабильного стронция. Далее, образец обрабатывали при нагревании 6М раствором HCl , с добавлением небольшого количества H_2O_2 для извлечения изотопов стронция в раствор.

Радиохимическая очистка и выделение изотопов стронция из кислотного выпелата проводилась путем последовательного осаждения коллекторов (гидроксида железа и карбоната стронция). Фракция, содержащая выделенные изотопы стронция, выдерживалась в течение двух недель для накопления дочернего радионуклида – ^{90}Y .

После достижения радиоактивного равновесия иттрий отделялся от материнского радионуклида осаждением в виде гидроксида $\text{Y}(\text{OH})_3$, переводился в 1М солянокислый раствор и переносился в полиэтиленовую вialу для последующего измерения активности ^{90}Y на жидко-сцинтилляционном спектрометре.

1.2.1.4 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$

В подготовленную навеску почвы вносили изотопную метку ^{242}Pu . Далее обрабатывали при нагревании концентрированными растворами фтористоводородной и азотной кислот и их смесями до полного растворения почвенной матрицы и перевода изотопов плутония в растворенное состояние. Далее стабилизировали изотопы плутония в IV-валентном состоянии и пропускали через ионообменные колонки, заполненные сильноосновным анионитом для удаления макро-, микроэлементов и альфа-излучателей. Изотопы плутония выделяли из раствора на диски из нержавеющей стали с помощью электролизной установки и передавали на альфа-спектрометрические измерения.

1.2.2 Определение содержания радионуклидов в послойных пробах почвы

1.2.2.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine» [1].

Время экспозиции проб составляло от 2 до 8 часов, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}Am составляло 0,1 Бк/кг.

1.2.2.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью жидкостного сцинтилляционного бета-спектрометра согласно методике измерений активности радионуклидов [2].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

1.2.2.3 *Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$*

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров согласно методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [2].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

2.1 *Определение содержания радионуклидов в поверхностных водах*

2.1.1 *Подготовка проб поверхностных вод к определению содержания радионуклидов*

2.1.1.1 *Предварительная подготовка проб*

Образцы воды сразу после отбора отфильтровывались через фильтр «синяя лента» и подкислялись азотной кислотой до pH=2–3. Пробы воды для определения содержания ^3H не подкислялись, транспортировались в лабораторию и сразу поступали на анализ. Законсервированные пробы должны храниться до анализа не более 1 месяца.

2.1.1.2 *Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am*

Подготовка проб воды к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводилась в соответствии с требованиями методики [3].

Выполнялось химическое концентрирование определяемых радионуклидов из пробы воды объемом не менее 10 л с помощью соответствующих реагентов (соосаждение ^{137}Cs на гексацианоферрате меди, соосаждение ^{241}Am на гидроксиде железа).

2.1.1.3 *Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$*

Подготовка проб воды к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ проводилась в соответствии с требованиями методики [3].

Выполнялось химическое концентрирование определяемых радионуклидов из пробы воды объемом не менее 10 л с помощью соответствующих реагентов (соосаждение $^{239+240}\text{Pu}$ на гидроксиде железа, соосаждение ^{90}Sr с карбонатом кальция).

2.1.1.4 *Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^3H*

Подготовка проб воды к определению содержания радионуклида ^3H проводилась с использованием рекомендаций международного стандарта ISO 9698:2019 (E) [4] и проходила по схеме для измерения образца с использованием жидкостного сцинтилляционного бета-спектрометра:

- дистилляция проб воды с помощью ротационного испарителя для очистки образцов от мешающих бета-излучающих радионуклидов и соединений, являющихся помехами, приводящими к подавлению сцинтилляционного процесса;
- смешивание очищенного образца (аликвоты) пробы объемом 3 мл со сцинтилляционным коктейлем в пропорции 1:3 (отношение образец – сцинтиллятор).

2.1.2 *Определение содержания радионуклидов в пробах поверхностных вод*

2.1.2.1 *Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am*

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine» [5].

Время экспозиции проб составляло от 2 до 8 часов, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}Am составляло 0,1 Бк/кг.

2.1.2.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью жидкостного сцинтилляционного бета-спектрометра согласно методике измерений активности радионуклидов [3].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

2.1.2.3 Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров согласно методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [3].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

2.1.2.4 Определение содержания радионуклида ^3H

Определение содержания ^3H в пробах воды проводилось с помощью жидко-сцинтилляционного бета-спектрометра с использованием международного стандарта ISO 9698:2019 [4].

Время экспозиции одной пробы составляло 10 часов. МДА ^3H – 4 Бк/кг.

2.2 Определение содержания радионуклидов в подземных водах

2.2.1 Подготовка проб подземных вод к определению содержания радионуклидов

2.2.1.1 Предварительная подготовка проб

Образцы воды сразу после отбора отфильтровывались через фильтр «синяя лента» и подкислялись азотной кислотой до $\text{pH}=2-3$. Пробы воды для определения содержания ^3H не подкислялись, транспортировались в лабораторию и сразу поступали на анализ. Законсервированные пробы должны храниться до анализа не более 1 месяца.

2.2.1.2 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Подготовка проб воды к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводилась в соответствии с требованиями методики [3].

Выполнялось химическое концентрирование определяемых радионуклидов из пробы воды объемом не менее 10 л с помощью соответствующих реагентов (соосаждение ^{137}Cs на гексацианоферрате меди, соосаждение ^{241}Am на гидроксиде железа);

2.2.1.3 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$

Подготовка проб воды к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ проводилась в соответствии с требованиями методики [3].

Выполнялось химическое концентрирование определяемых радионуклидов из пробы воды объемом не менее 10 л с помощью соответствующих реагентов (соосаждение $^{239+240}\text{Pu}$ на гидроксиде железа, соосаждение ^{90}Sr с карбонатом кальция).

2.2.1.4 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^3H

Подготовка проб воды к определению содержания радионуклида ^3H проводилась с использованием рекомендаций международного стандарта ISO 9698:2019 (E) [4] и

проходила по схеме для измерения образца с использованием жидкостного сцинтилляционного бета-спектрометра:

- дистилляция проб воды с помощью ротационного испарителя для очистки образцов от мешающих бета-излучающих радионуклидов и соединений, являющихся помехами, приводящими к подавлению сцинтилляционного процесса;
- смешивание очищенного образца (аликвоты) пробы объемом 3 мл со сцинтилляционным коктейлем в пропорции 1:3 (отношение образец – сцинтиллятор).

2.2.2 Определение содержания радионуклидов в пробах подземных вод

2.2.2.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine» [5].

Время экспозиции проб составляло от 2 до 8 часов, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}A составляло 0,1 Бк/кг.

2.2.2.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью жидкостного сцинтилляционного бета-спектрометра согласно методике измерений активности радионуклидов [3].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

2.2.2.3 Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров согласно методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [3].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

2.2.2.4 Определение содержания радионуклида ^3H

Определение содержания ^3H в пробах воды проводилось с помощью жидко-сцинтилляционного бета-спектрометра с использованием международного стандарта ISO 9698:2019 [4].

Время экспозиции одной пробы составляло 10 часов. МДА ^3H – 4 Бк/кг.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

3.1 Определение разовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе

3.1.1 Подготовка проб воздушных аэрозолей к определению содержания радионуклидов

3.1.1.1 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Проба воздуха (фильтр) озонялась в муфельной печи в течение 6 часов при температуре 390 °С.

Озоленная проба воздуха взвешивалась, помещалась в пластиковую емкость объемом 5 мл и передавалась на гамма-спектрометрические измерения.

3.1.1.2 Предварительная подготовка проб к определению содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr

На аналитических весах определялась масса пробы.

Фильтр доозолялся в муфельной печи в течение 5-6 часов при температуре 550 °С.

Полученная озоленная масса равномерно перемешивалась и взвешивалась.

Перемешанная озоленная масса делилась на 2 равные части, одна часть пробы подготавливалась для определения $^{239+240}\text{Pu}$, другая, оставшаяся часть, подготавливалась для определения ^{90}Sr .

3.1.1.3 Подготовка проб к определению содержания радионуклида ^{90}Sr

В навеску зольного фильтра вносился раствор стабильного стронция. Далее, образец обрабатывали при нагревании 6М раствором HCl, с добавлением небольшого количества H_2O_2 для извлечения изотопов стронция в раствор.

Радиохимическая очистка и выделение изотопов стронция из кислотного выщелата проводилась путем последовательного осаждения коллекторов (гидроксида железа и карбоната стронция). Фракция, содержащая выделенные изотопы стронция, выдерживалась в течение двух недель для накопления дочернего радионуклида – ^{90}Y .

После достижения радиоактивного равновесия иттрий отделялся от материнского радионуклида осаждением в виде гидроксида $\text{Y}(\text{OH})_3$, переводился в 1М солянокислый раствор и переносился в полиэтиленовую вialу для последующего измерения активности ^{90}Y на жидко-сцинтилляционном спектрометре.

3.1.1.4 Подготовка проб к определению содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

В подготовленную навеску зольного фильтра вносили изотопную метку ^{242}Pu . Далее навеске обрабатывали при нагревании концентрированными растворами фтористоводородной и азотной кислот и их смесями до полного растворения почвенной матрицы и перевода изотопов плутония в растворенное состояние.

Изотопы плутония стабилизировали в IV-валентном состоянии и пропускали через ионообменные колонки, заполненные сильноосновным анионитом для удаления макро-, микроэлементов и альфа-излучателей.

Изотопы плутония выделяли из раствора на диски из нержавеющей стали с помощью электролизной установки и передавали на альфа-спектрометрические измерения.

3.1.2 Определение содержания радионуклидов в пробах воздушных аэрозолей

3.1.2.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров, согласно методике [6].

Время экспозиции проб составляло от 4 часа, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}Am составляло 0,2 Бк/кг.

3.1.2.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью сцинтилляционных бета-спектрометров согласно методике измерений активности радионуклидов [Ошибка! Закладка не определена.].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

3.1.2.3 *Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$*

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров аналогично методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [2].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

3.2 **Определение среднегодовой объемной активности радионуклидов в атмосферном воздухе расчетным методом**

3.2.1 *Подготовка проб почвы к определению содержания радионуклидов*

3.2.1.1 *Предварительная подготовка проб (гранулометрическое фракционирование)*

Для разделения почвы на гранулометрические фракции последовательно использовали два метода: «мокрый» ситовой рассев и седиментация.

«Мокрый» рассев. Пробу почвы массой 600 г смачивали дистиллированной водой и растирали в фарфоровой ступке с применением пестика с резиновым наконечником. Полученную почвенную суспензию порционно переносили на колонку сит с размером ячеек 250, 40 мкм, размещенных в порядке уменьшения отверстий сверху вниз. Таким образом, методом «мокрого» ситового отсева были выделяли фракции 1000-40 мкм. Фракцию, прошедшую через сито с размером отверстий 40 мкм, далее подвергали седиментационному анализу.

Седиментационный анализ. Почвенную суспензию, полученную после ситового отсева, переносили в мерный цилиндр объемом 1 л (высота водного столба составляла 352 см), взбалтывали до полного взмучивания осадка со дна и отстаивали в течение необходимого количества времени. По истечении времени отстаивания надосадочную суспензию сливали декантацией, а осадок со дна собирали в отдельную емкость вместе с фракцией 1000-40 мкм, высушивали и взвешивали. Время отстаивания суспензии составляло в среднем 17 минут и корректировалось в зависимости от температуры суспензии согласно стандартной методике [7]. Не осевшие частицы в декантированной суспензии отделяли центрифугированием. Фракцию после центрифугирования переносили в фарфоровую чашку, высушивали и взвешивали.

3.2.1.2 *Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am*

Пробу высушивали до воздушно-сухого состояния.

Крупные почвенные конгломераты в пробе разбивали до размеров небольших комков. Затем, пробу просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм.

После этого, методом квадратирувания из общей пробы отбирали усредненную навеску массой 500-900 г.

Усредненную навеску помещали в специальную измерительную емкость и передавали на измерения.

3.2.1.3 *Предварительная подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$*

Из воздушно-сухого образца отбиралась навеска массой 150 г методом квадратирувания.

Образец истирался на лабораторной мельнице до порошкообразного состояния.

Из истертого образца после гомогенизации отбиралась навеска массой 60-70 г.

Образец прокаливался в течение 8 часов в муфельной печи при 550 °С для удаления органического вещества.

Из прокаленного образца после гомогенизации отбиралась навеска массой 10 г для дальнейшей подготовки к определению содержания ^{90}Sr и 50 г – для определения содержания $^{239+240}\text{Pu}$.

3.2.1.4 Подготовка проб к определению содержания радионуклида ^{90}Sr

В образец вносился раствор стабильного стронция. Далее, образец обрабатывали при нагревании 6М раствором HCl , с добавлением небольшого количества H_2O_2 для извлечения изотопов стронция в раствор.

Радиохимическая очистка и выделение изотопов стронция из кислотного выщелата проводилась путем последовательного осаждения коллекторов (гидроксида железа и карбоната стронция). Фракция, содержащая выделенные изотопы стронция, выдерживалась в течение двух недель для накопления дочернего радионуклида – ^{90}Y .

После достижения радиоактивного равновесия иттрий отделялся от материнского радионуклида осаждением в виде гидроксида $\text{Y}(\text{OH})_3$, переводился в 1М солянокислый раствор и переносился в полиэтиленовую вialу для последующего измерения активности ^{90}Y на жидко-сцинтилляционном спектрометре.

3.2.1.5 Подготовка проб к определению содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

В подготовленную навеску почвы вносили изотопную метку ^{242}Pu . Далее обрабатывали при нагревании концентрированными растворами фтористоводородной и азотной кислот и их смесями до полного растворения почвенной матрицы и перевода изотопов плутония в растворенное состояние. Далее стабилизировали изотопы плутония в IV-валентном состоянии и пропускали через ионообменные колонки, заполненные сильноосновным анионитом для удаления макро-, микроэлементов и альфа-излучателей. Изотопы плутония выделяли из раствора на диски из нержавеющей стали с помощью электролизной установки и передавали на альфа-спектрометрические измерения.

3.2.2 Определение содержания радионуклидов в пробах почвы

3.2.2.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine» [1].

Время экспозиции проб составляло от 2 до 8 часов, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}Am составляло 0,1 Бк/кг.

3.2.2.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью сцинтилляционных бета-спектрометров согласно методике измерений активности радионуклидов [2].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

3.2.2.3 Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров согласно методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [2].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

4. РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

4.1 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов

4.1.1 Подготовка проб растений к определению содержания радионуклидов

4.1.1.1 Предварительная подготовка проб растений

Предварительная подготовка проб растений состоит из следующих этапов:

- пробы растений (разнотравье) и т.п. извлекают из двустенных полиэтиленовых пакетов, взвешивают на весах и определяют массу исходного образца (массу пробы без тары) с погрешностью не более $\pm 0,01$ г;
- пробу сухую или сырую помещают на металлическую решетку (сито) промывают проточной водой;
- промытые пробы предварительно грубо измельчают с целью усреднения на отрезки длиной (1–3 см) в пластиковом поддоне, поместив тонким слоем толщиной (3–4) см на крафт-бумагу или пищевую пленку, во избежание загрязнений и механических потерь пробы;
- для сушки в сушильном шкафу пробы распределяют по поверхности лотка из нержавеющей стали или фарфоровой чашки и высушивают, при температуре 100 ± 2 °C в течение 3–5 часов (в зависимости от влажности растительного образца и его массы), до полного высыхания;
- высушенную пробу взвешивают на весах, определяют ее массу с погрешностью $\pm 0,01$ г и измельчают на лабораторной мельнице до однородного состояния с целью лучшего усреднения и гомогенизации;
- измельченную пробу (навеску) переносят в фарфоровую чашку, заранее определив ее массу (для обугливания растительных образцов используют фарфоровые чашки объемом больше чем образец), и проводят осторожно обугливание путем прокаливания на электроплите при начальной температуре 150–250 °C под вытяжным шкафом или в муфельной печи при начальной температуре 200–250 °C, постепенно повышая температуру до 350–400 °C (на 50 °C через каждые 30 минут), не допуская сильного дымления, воспламенения и выбросов;
- процесс обугливания считают законченным при прекращении вспучивания пробы и исчезновении дыма;
- пробу охлаждают, растирают при помощи пестика (измельчают на лабораторной мельнице) до однородного состояния;
- определяют массу обугленной пробы с точностью $\pm 0,01$ г, определяют коэффициент обугливания образца, который вычисляют по формуле:

$$K_{об.} = \frac{m_{об.}}{m_n}, \quad (1)$$

где $K_{об.}$ – коэффициент обугливания;

$m_{об.}$ – масса обугленной пробы (г);

m_n – масса навески (г).

4.1.1.2 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am состоит из следующих этапов:

- отбирают необходимую навеску из обугленной пробы, помещают в предварительно взвешенную измерительную емкость (масса навески зависит от объема измеряемого сосуда и количества исходной пробы);

- навеску уплотняют постукиванием, заполняя всю высоту емкости, взвешивают емкость с образцом, измеряют диаметр емкости и высоту слоя пробы в ней ($\pm 0,5$ мм), вычисляют массу навески по формуле:

$$m_n = \frac{m_{об}}{m_{ем}}, \quad (2)$$

где m_n – масса навески на измерение;

$m_{об}$ – суммарная масса навески и измерительной емкости;

$m_{ем}$ – масса измерительной емкости.

- емкость со счетным образцом герметично закрывают, маркером наносят надпись с указанием данных счетного образца (номер пробы, масса, высота навески и толщина дна измерительной емкости).

- емкость с подготовленной навеской передают для проведения гамма-спектрометрического измерения.

4.1.1.3 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr

Подготовку проб к определению содержания радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr выполняют в соответствии с МВИ [8]:

- отбирают необходимую навеску из образца, прошедшего гамма-спектрометрический анализ;

- навеску помещают в предварительно взвешенную фарфоровую чашку (диаметр чашки зависит от массы навески и количества исходной пробы), закрывают фольгой;

- фарфоровые чашки с пробой помещают в холодную муфельную печь, далее постепенно повышают температуру в муфельной печи на 50°C через каждые 30 минут, доводя до 500°C ;

- озоление в муфельной печи проводят при температуре $(550 \pm 5)^\circ\text{C}$ до полного удаления органического вещества в течение длительного времени (от 32 до 96 ч и более) до постоянной массы;

- при наличии частиц угля чашу с золой охлаждают на воздухе, смачивают раствором азотной кислоты (1:1), добавляют 2–3 см³ 3% раствора перекиси водорода, выпаривают досуха в сушильном шкафу при температуре до 140°C , либо на электроплите со слабым нагревом;

- после охлаждения чашу с навеской снова помещают в охлажденную муфельную печь, постепенно доводят температуру до 300°C и выдерживают в течение 0,5 ч; цикл повторяют несколько раз до получения золы светло-серого цвета без обугленных частиц;

- по окончании озоления чаши с золой охлаждают в выключенной муфельной печи, затем в эксикаторе, и взвешивают;

- постоянство массы считается достигнутым, если разность результатов двух последовательных взвешиваний составляет не более 0,001 г;

- золу просеивают через сито с диаметром ячейки 0,1 мм для удаления примесей (уголь, песок), взвешивают и определяют массу золы с погрешностью $\pm 0,001$ г;

- определяют коэффициент озоления образца, который вычисляют по формуле:

$$K_{оз} = \frac{m_з}{m_n}, \quad (3)$$

где $K_{оз}$ – коэффициент озоления;

$m_з$ – масса золы (г);

m_n – масса навески (г).

- отбирают необходимую навеску золы на радиохимический анализ, поместив в емкость (предварительно определив массу тары);
- емкость со счетным образцом герметично закрывают (полиэтиленовой пленкой), маркером наносят надпись с указанием данных счетного образца (номер пробы, масса навески золы, масса навески с тарой, коэффициент озолнения, вид анализа) и передают на радиохимический анализ.

4.1.2 Подготовка проб почвы к определению содержания радионуклидов

4.1.2.1 Предварительная подготовка проб почвы

Предварительная подготовка проб почвы и грунта состоит из следующих этапов:

- поступившую пробу взвешивают;
- пробу перемешивают шпателем и если на нем остаются частицы почвы, то проба считается влажной, если частицы почвы не остаются – проба считается воздушно-сухой;
- влажные пробы высушивают в сушильном шкафу или в лабораторном помещении, в зависимости от поставленных задач. Для этого всю пробу равномерно распределяют по поверхности металлического подноса и высушивают, при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, периодически перемешивая, в течение не более 24 ч (для песчаных проб и донных отложений) и не более 48 ч (для глинистых почв), в зависимости от влажности проб. Для проб, содержащих торф или существенное количество извести, следует поддерживать температуру в сушильном шкафу $(50 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ во избежание воспламенения. Аналогично проба может быть высушена до постоянной массы в металлическом или пластиковом поддоне при температуре и влажности лабораторного помещения (воздушно-сухая проба). Пробу, предназначенную для проведения физико-химического анализа, необходимо высушивать при температуре $(40 \pm 0,5)^\circ\text{C}$;
- после остывания в сушильном шкафу пробу перемешивают в металлическом поддоне, и если на шпателе не остается частиц почвы, то проба считается абсолютно-сухой;
- отбирают включения из пробы – неразложившиеся корни и остатки растений, насекомых, камни, стекло, уголь, кости животных, а также новообразования – друзы гипса, известковые журавчики и другое;
- сухую пробу взвешивают;
- сухую пробу просеивают через сито с диаметром отверстий 2 мм. Крупные почвенные конгломераты (комки) разламывают руками или разбивают в фарфоровой ступке пестиком до небольших комков диаметром (5-8) мм. Допускается использовать сито с диаметром отверстий 1 мм;
- фракцию пробы менее 2 мм взвешивают, записывают ее массу и вновь рассыпают на листе крафт-бумаги, тщательно перемешивают (6–7) раз с угла на угол, распределяют ровным слоем толщиной (0,5–1,0 см) в виде квадрата или прямоугольника для квадратирования;
- методом квадратирования отбирают навеску пробы. Для этого с помощью стеклянной палочки или шпателя квадрат или прямоугольник делится горизонтальными вертикальными линиями на небольшие квадраты площадью (5×5) см. Из каждого квадрата в шахматном порядке отбирают порции пробы, обеспечивая захват всей толщины слоя, и объединяют их. Отбор навески методом квадратирования проводят до тех пор, пока не будет отобрана достаточная навеска для проведения необходимого анализа.

4.1.2.2 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Подготовка проб определению содержания радионуклидов ^{241}Am и ^{137}Cs состоит из следующих этапов:

- после предварительной подготовки проб из фракции пробы менее 2 мм методом квадратирования отбирают навеску. Для этого с помощью стеклянной палочки или шпателя квадрат или прямоугольник делится горизонтальными вертикальными линиями на небольшие квадраты площадью (5×5) см. Из каждого квадрата в шахматном порядке отбирают порции пробы, обеспечивая захват всей толщины слоя, и объединяют их в усредненную навеску;

- усредненную навеску массой (200±5) г помещают в размольную гарнитуру и истирают на лабораторной мельнице до крупности 200 меш (≤0,074 мм), для улучшенной гомогенизации счетного образца;

- истертую навеску помещают в предварительно взвешенную измерительную емкость (масса навески зависит от объема измеряемого сосуда и количества исходной пробы). Навеску уплотняют постукиванием, взвешивают емкость с образцом, вычисляют массу навески, измеряют диаметр емкости и высоту слоя пробы в ней (± 0,5 мм). Массу навески вычисляют по формуле:

$$m_n = m_{об} - m_{ем}, \quad (4)$$

где m_n – масса навески на измерение;

$m_{об}$ – суммарная масса навески и измерительной емкости;

$m_{ем}$ – масса измерительной емкости.

Емкость со счетным образцом герметично закрывают, на нее маркером наносят надпись с указанием данных счетного образца (номер пробы, масса, высота навески и толщина дна измерительной емкости);

- измерительную емкость с подготовленным счетным образцом передают на измерение.

4.1.2.3 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr

Подготовку проб почвы и грунта к определению содержания радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr выполняют в соответствии с МВИ [8]:

- после предварительной подготовки проб почвы (если бета- или гамма-спектрометрический анализ не проводился) из фракции пробы менее 2 мм методом квадратирования отбирают усредненную навеску массой (50–200) г и истирают на лабораторной мельнице до крупности 200 меш (≤0,074 мм);

- в случае предварительного проведения бета- или гамма-спектрометрических измерений навеску для радиохимического анализа отбирают из навески, прошедшей спектрометрическое определение бета- или гамма-излучающих радионуклидов. Для этого, измеренную навеску высыпают из измерительной емкости на крафт-бумагу, тщательно перемешивают, методом квадратирования отбирают усредненную навеску массой (50±200) г и истирают на лабораторной мельнице до крупности 200 меш (≤ 0,074 мм);

- для определения $^{239+240}\text{Pu}$ (аналогично для совместного определения $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr) из истертой части пробы методом квадратирования отбирают усредненную навеску массой (5–10) г, взвешивая с точностью до 0,1 г. Усредненную навеску почвы помещают в фарфоровый тигель, который накрывают крышкой, и ставят в холодную муфельную печь. Далее подготовленную навеску прокалывают в муфельной печи при температуре (550±5) °С до полного удаления органического вещества в течение 9 ч. Для навесок некоторых типов почв время прокалывания может составить до 16–24 ч. После охлаждения муфельной печи тигель вынимают и навеску перемешивают стеклянной палочкой, почва должна иметь однородный окрас. Если окрас навески неоднороден, то процедуру озоления необходимо повторить;

- для определения ^{90}Sr из истертой части пробы методом квадратирования отбирают усредненную навеску массой (5–50) ± 0,1 г, температура прокалывания –

(550±5) °С, время прокаливания в муфельной печи составляет 9 ч. Для навесок некоторых типов почв время прокаливания может составить до 16–24 ч. После охлаждения муфельной печи тигель вынимают и навеску перемешивают стеклянной палочкой, почва должна иметь однородный окрас. Если окрас навески неоднороден, то процедуру озоления необходимо повторить;

- вынутые тигли составляют на пластиковый поддон с высокими бортиками для избегания рассыпания пробы.

4.2 Определение содержания радионуклидов в объектах растительного мира

4.2.1 Определение содержания радионуклидов в пробах растений

4.2.1.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике [6].

Время экспозиции проб составляло от 4 часа, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}Am составляло 0,2 Бк/кг.

4.2.1.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью сцинтилляционных бета-спектрометров согласно методике измерений активности радионуклидов [2].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

4.2.1.3 Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров аналогично методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [2].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

4.2.2 Определение содержания радионуклидов в пробах почвы

4.2.2.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике [6].

Время экспозиции проб составляло от 4 часа, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}Am составляло 0,2 Бк/кг.

4.2.2.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью сцинтилляционных бета-спектрометров согласно методике измерений активности радионуклидов [2].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

4.2.2.3 *Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$*

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров аналогично методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [2].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

5. РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНОГО МИРА

5.1 Экспериментальное определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мышечных тканях (в мясе) животных

5.1.1 *Подготовка проб мышечных тканей (мяса) животных к определению содержания радионуклидов*

5.1.1.1 *Предварительная подготовка проб*

Пробы животного происхождения (мясо) извлекали из двустенных полиэтиленовых пакетов, взвешивали на весах и определяли массу исходного образца. Замороженную пробу мышечной ткани помещают на крафт-бумагу на дно пластикового поддона и размораживают при комнатной температуре.

Точечные пробы мышечной ткани или внутренних органов отбирают от размороженного блока целыми кусками массой не менее 200 г. Из полученных точечных проб формируют объединенную пробу, масса которой должна составлять не менее 1000 г каждого образца.

Пробы мышечной ткани, отделяли от жира и сухожилий, нарезали ножом на разделочной доске на кусочки массой от 10 до 15 г, измельчали на мясорубке с отверстиями решетки не более 4 мм и тщательно перемешивали. Измельченную пробу, раскладывали на крафт-бумаге, и высушивали под инфракрасными лампами или в сушильном шкафу при 105 ± 2 °С в течение 24–40 часов (в зависимости от влажности образца и его массы), до полного высыхания.

Высушенную пробу массой от 200 до 500 г, с целью лучшего усреднения и гомогенизации измельчали на лабораторной мельнице (блендере), до однородного состояния.

Измельченную пробу переносили в фарфоровую чашку и обугливали путем прокаливания на электроплите под вытяжным шкафом или в муфельной печи при температуре первоначальной 150 °С, постепенно повышая температуру в течение 5–6 ч, доводя до 400 °С, до прекращения вспучивания пробы и отхождения дыма.

5.1.1.2 *Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs*

Обугленную пробу охлаждали, растирали при помощи пестика до однородного состояния. Вычисляли коэффициент обугливания.

Полученную обугленную пробу (навеску) помещали в предварительно взвешенную измерительную емкость и передавали на измерения.

5.1.1.3 *Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr*

Подготовку проб животного происхождения для радиохимического анализа для определения ^{90}Sr выполняют в соответствии с МВИ [9].

Навеску для радиохимического анализа отбирали из навески, прошедшей спектрометрическое определение гамма и бета-излучающих радионуклидов. Для этого, измеренную навеску высыпают в фарфоровую чашку, плотно не утрамбовывают, закрывают фольгой, в отсутствие крышки. Фарфоровые чашки с навеской помещают в

холодную муфельную печь. Далее постепенно повышают температуру в муфельной печи на 500 °С через каждые 30 минут, в течение 5–6 доводя до 500 °С. Далее подготовленную навеску озолотят в муфельной печи при температуре (550±5) °С до полного удаления органического вещества в течение длительного времени (96–160 часов) и более.

По окончании прокаливания чашки с золой проб животного происхождения охлаждают в выключенной муфельной печи, а затем в эксикаторе и взвешивают. Постоянство массы считается достигнутым, если разность результатов двух последовательных взвешиваний составляет не более 0,001 г. Готовую золу просеивают через сито с диаметром ячейки 0,1 мм для удаления примесей (уголь, песок). Определяют массу золы с точностью до 0,001 г.

Определяют коэффициент озолотения образца, который представляет собой массу золы в граммах, полученную из взятой навески образца. Коэффициент озолотения вычисляют по формуле:

$$K_{\text{оз}} = \frac{m_z}{m_n}, \quad (5)$$

где $K_{\text{оз}}$ – коэффициент озолотения;

m_z – масса золы (г);

m_n – масса навески (г).

5.1.2 Определение содержания радионуклидов в пробах мышечных тканей (мяса) животных

5.1.2.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs

Определение активности ^{137}Cs в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике [6].

Время экспозиции проб составляло от 4 часа, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs составляло 0,2 Бк/кг.

5.1.2.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью сцинтилляционных бета-спектрометров согласно методике измерений активности радионуклидов [2].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

5.2 Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в мышечных тканях (в мясе) животных расчетным методом

5.2.1 Отбор проб фекалий животных

Отбор проб фекалий выполняется в соответствии с ГОСТ 27262-87 [10].

5.2.2 Подготовка проб фекалий животных к определению содержания радионуклидов

5.2.2.1 Предварительная подготовка проб

Пробу фекалий высушивают до воздушно-сухого состояния при температуре 100±2 °С в течение 3–5 часов, до полного высыхания;

Высушенную пробу переносят в фарфоровую чашку, далее проводят обугливание путем прокаливания на электроплите при начальной температуре 150–250 °С постепенно повышая температуру до 350–400 °С.

Обугленную пробу охлаждают, растирают при помощи пестика (измельчают на лабораторной мельнице) до однородного состояния;

Далее определяют массу обугленной измельченной пробы с точностью $\pm 0,01$ г, рассчитывают коэффициент обугливания образца по формуле:

$$K_{об.} = \frac{m_{об.}}{m_n}, \quad (6)$$

где $K_{об.}$ – коэффициент обугливания;

$m_{об.}$ – масса обугленной пробы (г);

m_n – масса навески (г).

5.2.2.2 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Отбирают необходимую навеску из обугленной пробы фекалий, помещают в предварительно взвешенную измерительную емкость. Определяют геометрию измерительной емкости (высота заполнения пробы, диаметр емкости, высота дна).

Емкость с подготовленной навеской передают для проведения гамма-спектрометрического измерения.

5.2.2.3 Подготовка проб к определению содержания радионуклидов ^{90}Sr

Подготовку проб фекалий к определению содержания радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr выполняют в соответствии с МВИ [8].

Отбирают необходимую навеску из образца, прошедшего гамма-спектрометрический анализ.

Навеску помещают в предварительно взвешенную фарфоровую чашку, закрывают фольгой.

Фарфоровые чашки с пробой помещают в холодную муфельную печь, далее постепенно повышают температуру в муфельной печи на 50 °С через каждые 30 минут, доводя до 500 °С.

Озоление в муфельной печи проводят при температуре (550 ± 5) °С до полного удаления органического вещества в течение длительного времени (от 32 до 96 ч и более) до постоянной массы.

По окончании озоления чаши с золой охлаждают в выключенной муфельной печи, затем в эксикаторе и взвешивают.

Золу просеивают через сито с диаметром ячейки 0,1 мм для удаления примесей (уголь, песок), взвешивают и определяют массу золы с погрешностью $\pm 0,001$ г.

Определяют коэффициент озоления образца по формуле:

$$K_{оз} = \frac{m_z}{m_n}, \quad (7)$$

где $K_{оз}$ – коэффициент озоления;

m_z – масса золы (г);

m_n – масса навески (г).

Отбирают необходимую навеску золы (от 2 г до 5 г) и поместив в емкость передают на радиохимический анализ.

5.2.3 Определение содержания радионуклидов в пробах фекалий животных

5.2.3.1 Определение содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am

Определение активности ^{137}Cs и ^{241}Am в пробах выполнялось с помощью полупроводниковых гамма-спектрометров согласно методике [6].

Время экспозиции проб составляло от 4 часа, в зависимости от активности измеряемого образца. Минимально детектируемая активность (МДА) измерительного оборудования для ^{137}Cs и ^{241}Am составляло 0,2 Бк/кг.

5.2.3.2 Определение содержания радионуклида ^{90}Sr

Определение активности ^{90}Sr в пробах проводилось по дочернему продукту ^{90}Y с помощью сцинтилляционных бета-спектрометров согласно методике измерений активности радионуклидов [2].

Время экспозиции составляет 2 часа. МДА при использовании методов жидко-сцинтилляционной спектрометрии – 2 Бк/кг.

5.2.3.3 Определение содержания радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

Определение активности $^{239+240}\text{Pu}$ в счетных образцах выполнялось с помощью полупроводниковых альфа-спектрометров аналогично методике определения удельной активности искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды [2].

Время измерений зависело от активности источника и требуемой статистической точности. Среднее время экспозиции составляло 4 часа. МДА – 0,5 Бк/кг.

-
- 1 Активность радионуклидов в счетных образцах. Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine», Менделеево, 2014. - № KZ 07.00.03126-2015.
 - 2 Методика выполнения измерений «Определение удельной активности искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды: почвах, грунтах, донных отложениях и растениях», Алматы, ИЯФ, 2016. - № KZ 07.00.03445-2016.
 - 3 МВИ «Определение содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 и цезия-137 в водах методом концентрирования», Алматы, 2017. – 25 с. / KZ.07.00.03615-2017.
 - 4 СТ РК ISO 9698-2022 «Качество воды. Тритий. Метод определения активности с помощью жидкостно-сцинтилляционного счета».
 - 5 МИ 2143-91 №5.06.001.98 «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре».
 - 6 Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре: МИ 2143–91. – Введ. 1998–06–02. – Рег. №5.06.001.98. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. – 17 с.
 - 7 СТ РК ISO 1277-2017 КАЧЕСТВО ПОЧВЫ. Определение гранулометрического состава минеральных почв. Метод просеивания и осаждения.
 - 8 Методика выполнения измерений «Определение удельной активности искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды: почвах, грунтах, донных отложениях и растениях».
 - 9 Методика выполнения измерений «Определение содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в биологических объектах)», номер по реестру Государственной системы измерений РК KZ.07.00.03614-2017.
 - 10 ГОСТ 27262-87 «Корма растительного происхождения. Методы отбора проб».