

УДК 631.41:622.245:504.064:539.16

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СКВАЖИНАХ НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»

Кабдыракова А.М., Меньдубаев А.Т.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В работе представлены результаты исследования распределения искусственных радионуклидов по агрегатным фракциям почв на следах радиоактивных выпадений в районе двух скважин – № 1301 и № 1077 (бывшая испытательная площадка «Балапан»), где были осуществлены подземные ядерные испытания, различающиеся по характеру фактической радиационной обстановки. В районе скважины № 1301, где подземный ядерный взрыв сопровождался непредвиденным выходом в атмосферу радиоактивных продуктов взрыва, наибольшая аккумуляция ^{137}Cs и ^{90}Sr происходит во фракциях размером от 250 до 1000 мкм. Распределение ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ характеризуется двумя различающимися тенденциями – преимущественным обогащением фракций размером от 250 до 1000 мкм в ближней зоне следа (до 250 м) и преимущественным обогащением фракций размером 5–8 мкм и <1 мкм на удаленном участке следа (от 700 до 2500 м). В районе скважины № 1077, где предполагается, что подземный взрыв сопровождался истечением радиоактивных инертных газов, ^{137}Cs и ^{90}Sr преимущественно сконцентрированы во фракциях размером менее 5 мкм, ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – во фракциях размером 8–40 мкм и <1 мкм.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон (СИП), площадка «Балапан», подземные ядерные испытания, скважина, искусственные радионуклиды, цезий (^{137}Cs), стронций (^{90}Sr), америций (^{241}Am), плутоний ($^{239+240}\text{Pu}$), почва, агрегатные фракции.

ВВЕДЕНИЕ

Площадка «Балапан» расположена в восточной части Семипалатинского испытательного полигона (СИП), на левом берегу р. Чаган и занимает площадь около 780 км². В период с 1965 по 1989 гг. на площадке проводились подземные ядерные взрывы в скважинах мощностью до 100–200 кт. Всего на площадке было проведено 105 испытаний с подрывом 167 ядерных зарядов [1–2].

Степень и характер формирования загрязнения объектов окружающей среды в районе проведения подземных ядерных испытаний зависят от условий, которые имели место при их проведении. По характеру фактически наблюдаемой радиационной обстановки подземные ядерные взрывы, осуществленные на СИП, подразделялись на взрывы с выбросом грунта (ВВГ) или экскавационные, взрывы камуфлетные полные (ВКП), взрывы неполного камуфлета, сопровождающиеся незначительным истечением в атмосферу радиоактивных инертных газов (ВНК-РИГ) и взрывы неполного камуфлета с нештатной радиационной ситуацией (ВНК-НРС) [1–3]. Взрывы камуфлетные полные (ВКП), как правило, не приводят к радиоактивному загрязнению дневной поверхности, так как образовавшиеся радиоактивные продукты взрыва остаются в полости взрыва. Помимо экскавационных взрывов, к формированию радиоактивного загрязнения местности также приводят взрывы неполного камуфлета, сопровождающиеся незначительным истечением в атмосферу радиоактивных инертных газов (ВНК-РИГ), и взрывы неполного камуфлета с нештатной радиационной ситуацией (ВНК-НРС). Последние приводят к существенному радиоактивному загрязнению дневной поверхности,

так как сопровождаются непредсказуемым ранним напорным выходом в атмосферу радиоактивных продуктов взрыва вследствие нарушения нормального процесса проведения испытания.

При проведении подземных ядерных испытаний в скважинах на площадке «Балапан» произошли 4 нештатных радиационных ситуаций. В районе скважин с нештатной радиационной ситуацией были обнаружены участки с высоким уровнем радиационного загрязнения. Радиоактивное загрязнение, в основном, распространено как у оголовков скважин, так и за пределами приустьевых площадок в виде протяженных следов радиоактивных выпадений шириной от 100 до 200 м, длиной – от 250 до 2000 метров [4–7].

Ядерные испытания в остальных скважинах прошли в штатном режиме [8]. В ходе проведенных радиоэкологических обследований установлено присутствие радиоактивного загрязнения почвенного покрова в районе 14 скважин. Из них высоким уровнем загрязнения характеризовались районы приустьевых площадок 7 скважин. Радиоактивное загрязнение в виде локальных пятен, в основном, сосредоточено в районе оголовков скважин на расстоянии до 50–100 м [4, 5, 7]. Присутствие радиоактивного загрязнения в районе скважин может свидетельствовать о том, что взрывы были осуществлены с нарушением камуфлетности и очевидно, сопровождались выходом радиоактивных инертных газов в атмосферу.

Исследования распределения искусственных радионуклидов по гранулометрическим (агрегатным) фракциям почвы на площадке «Балапан» проведены на следе радиоактивных выпадений от подземного ядерного взрыва с выбросом грунта в районе объекта

«Атомное озеро». Результаты показали, что распределение элементов материала ядерного заряда (^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$) и продуктов деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) в гранулометрических фракциях почвы характеризуются двумя противоположными тенденциями. Радионуклиды ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в наибольшей степени сосредоточены во фракциях почвы размером 500–1000 мкм и 8–40 мкм, радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr – во фракции размером <1 мкм. При этом преимущественная аккумуляция ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ во фракции размером 1000–500 мкм выявлена вблизи места проведения испытания (до 800 м), тогда как на удалении от него (до ~3 км) преобладающее содержание трансураниевых радионуклидов приходится на фракцию размером 8–40 мкм [9–11].

Подобные исследования также проводились в местах проведения подземных ядерных испытаний в скважинах на полигоне «Азгир», которые показали, что радионуклиды ^{137}Cs и ^{241}Am сосредоточены в мелкодисперсных фракциях почвы. Около 68–98% ^{137}Cs и ~50% ^{241}Am сосредоточены во фракции размером <63 мкм [12]. Необходимо отметить, что несмотря на то, что все взрывы на полигоне «Азгир» проектировались как полностью камуфлетные, данные о некоторых параметрах осуществлённых ядерных взрывов свидетельствовали о том, что испытания сопровождались продолжительными (от нескольких дней до нескольких месяцев) выбросами в атмосферу радиоактивных газов [13, 14].

Целью настоящих исследований являлось выявление особенностей формирования радиоактивного загрязнения почвы по характеру распределения искусственных радионуклидов по агрегатным фракциям почвы в местах проведения подземных ядерных взрывов в скважинах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования. Исследования проводились в районе двух скважин, где были проведены подземные ядерные испытания – № 1301 и № 1077. Испытание в скважине № 1301 проводилось 16.04.1974 г., мощность взрыва составила 0,001–20 кт. Взрыв в скважине сопровождался нештатной радиационной ситуацией. При этом наблюдалось быстрое и динамичное истечение газообразных продуктов в эпицентральной зоне и их возгорание. В месте проведения испытания имеются признаки нарушения естественного рельефа, т.е. небольшая воронка с кромкой из навала грунта, заполненная водой [15].

Испытание в скважине № 1077 проводилось 05.07.1978 г., мощность взрыва составила 20–150 кт. Согласно имеющейся информации испытание в данной скважине было проведено в штатном режиме [16, 4]. Однако в районе приустьевой площадки скважины выявлено высокое радиоактивное загрязнение почвенного покрова, характеризующееся преимущественным содержанием продуктов деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) [5, 8]. Предполагается, что данное испытание относится к категории взрывов неполного камуфлета

с истечением радиоактивных инертных газов. В месте проведения испытания нарушений конструкции скважины не наблюдается.

Методология исследования. Этапы исследования включали полевые работы, в ходе которых был произведен отбор поверхностного слоя почвы, и лабораторные работы, которые заключались в общей подготовке проб почвы к анализам, разделении проб на агрегатные фракции и определении концентрации радионуклидов в почве и во фракциях.

Отбор проб почвы. Отбор проб почвы в районе скважины № 1301 производился на следе радиоактивных выпадений в продольном и поперечном направлениях по удалению от места проведения испытания. По продольному профилю (протяженность 400 м) отобраны 6 проб, по поперечному (протяженность ~2500 м) – 9 проб. Расстояние между точками составило от 50 до 400 м (рисунок 1).

След в районе скважины № 1077 распадается на две части, схожие по форме и площади, простирающиеся в западном и юго-западном направлениях. Отбор проб производился по двум профилям (70–80 м), расположенным по направлениям следов (частей), по мере отдаления от места проведения испытания. Всего в данном районе отобрано 8 проб. Расстояние между точками составило 10–20 м. Схема расположения точек отбора проб почвы на следах представлена на рисунке 1.

На месте, выбранном для отбора пробы, выделялся небольшой участок размером 1–2 м², в пределах которого был произведен отбор 5 точечных проб поверхностного слоя почвы глубиной 5 см. Точечные пробы отбирались по углам и центру участка (метод «конверта») и объединялись в одну общую пробу. Для отбора точечной пробы использовался пробоотборный совок размерами 5×10×10 см (Г×Ш×В). Средняя масса объединенной пробы составляла 3–3,5 кг.

Подготовка проб к анализам. Образцы почвы высушивались в сушильном шкафу при температуре не более 60 °С. Из высушенного образца почвы удалялись крупные камни и растительные включения, после чего сухая проба просеивалась через сито с размером ячеек 1 мм. Каменистая фракция размером >1 мм исключалась из дальнейших исследований, фракция размером <1 мм подвергалась дальнейшему разделению на агрегатные фракции (фракционирование).

Разделение почвы на агрегатные фракции. Для разделения почвы на агрегатные фракции были последовательно использованы два метода: «мокрый» ситовой рассев и седиментация (отмучивание). С помощью ситовой расसेва выделены фракции 1000–500; 500–250; 250–100; 100–63, 63–40 мкм. Фракция, прошедшая через сито с размером отверстий 40 мкм, в дальнейшем подвергалась седиментации. Методом седиментации выделены фракции с размером частиц 40–8 мкм, 8–5 мкм, 5–1 мкм и <1 мкм.

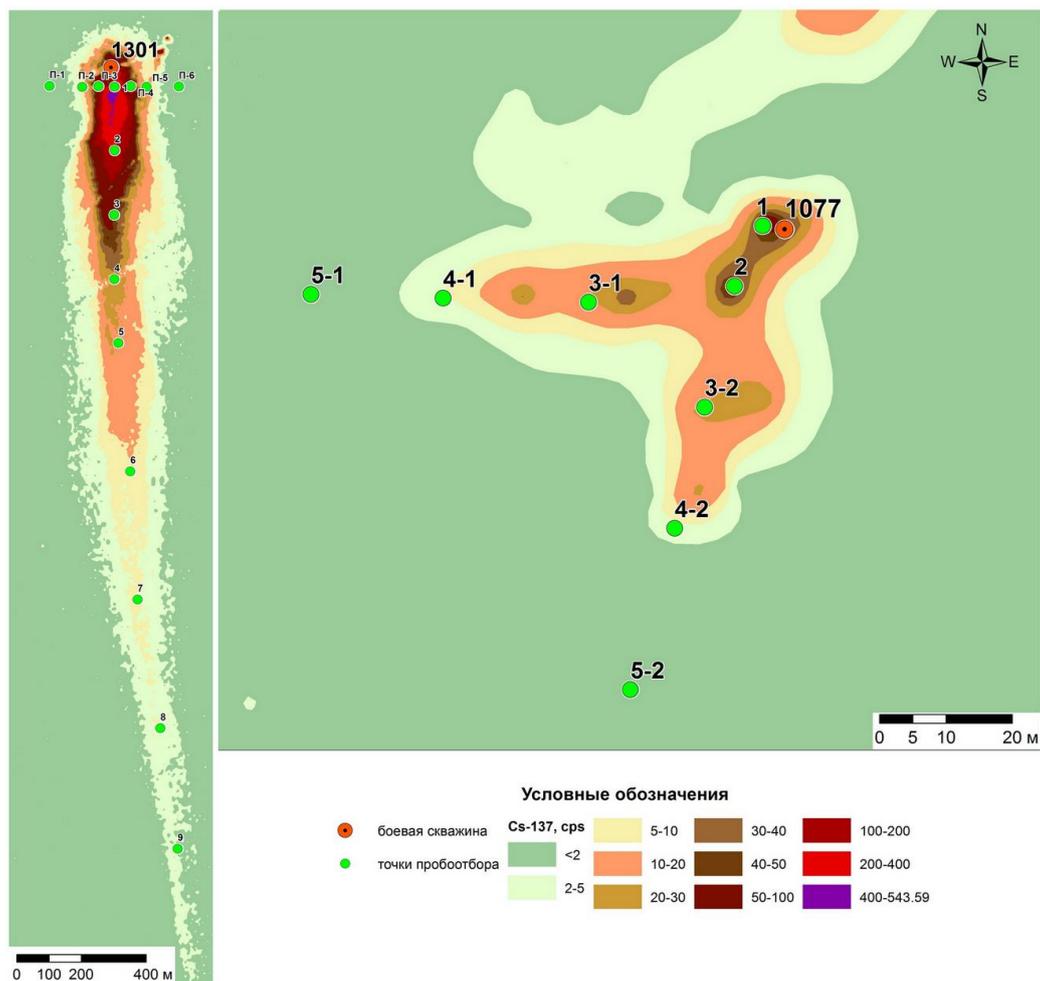


Рисунок 1. Схема расположения точек отбора проб в районе скважин 1301 (слева) и 1077 (справа)

Радионуклидные анализы. Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводилось на гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором Canberra BE5030 (CANBERRA, США) [17]. Определение удельной активности ^{90}Sr проводилось прямым измерением на бета-спектрометре «Прогресс-БГ», Россия [18]. Однако в случае, если удельная активность радионуклида в образцах находилась ниже детектируемого предела, который составляет 100 Бк/кг, проводился радиохимический анализ.

Радиохимическое выделение ^{90}Sr , а также и $^{239+240}\text{Pu}$, состояло из нескольких этапов: извлечения радионуклидов из почвенной матрицы методом полного разложения, очистки от мешающих радионуклидов, подготовки счетных образцов и определения удельной активности радиоизотопов [19]. Удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в счетном образце определялась с помощью альфа-спектрометра с полупроводниковым детектором «Alpha – Analyst» («CANBERRA», США). Удельная активность ^{90}Sr определялась по равновесной удельной активности Y-90 на жидкоцинтилляционном бета-спектрометре Tri-Carb 2910TR (Perkin Elmer, США). Химический выход

стронция определялся методом атомно-эмиссионной спектроскопии (ICP-AS).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микроагрегатный (гранулометрический) состав почв. По относительному содержанию агрегатных фракций (таблица 1) дана характеристика макро- и микро- агрегатного состава исследуемых почв.

Макро- и микро-агрегатный состав почвы в районе скважины № 1301 складывается практически из равных долей всех фракций, за исключением илистой (<math><1</math> мкм). Илистая фракция занимает наименьшую долю в почвенной массе. В целом агрегатный состав почв в исследуемом районе однородный.

В почвах в районе скважины № 1077 преобладают крупнодисперсные (песчаные) фракции с размером агрегатов от 100 до 1000 мкм, на долю которых приходится в сумме 40–70% массы почвы. Следующую значимую долю занимает фракция микроагрегатов размером 8–40 мкм. Наименьшей массовой долей обладает фракция размером <math><1</math> мкм. Однако в единичных случаях выявлено, что содержание илистой фракции значительно увеличивается и она является доминирующей в микроагрегатном составе почвы.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ В РАЙОНЕ
ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СКВАЖИНАХ НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»**

Таблица 1. Содержание агрегатных фракций в почвах в районе скважин № 1307 и № 1077, % по массе

| Значение | Фракция, мкм | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|---------|---------|--------|-------|------|------|------|------|
| | 1000–500 | 500–250 | 250–100 | 100–63 | 63–40 | 40–8 | 8–5 | 5–1 | <1 |
| скважина № 1301 | | | | | | | | | |
| мин. | 6,1 | 5,7 | 10 | 4,1 | 6,3 | 11,2 | 8,3 | 8,7 | 2 |
| макс. | 13,7 | 15,2 | 18,1 | 13,4 | 17,2 | 17,9 | 13,8 | 35,5 | 5,2 |
| ср. | 10,2 | 9,1 | 15 | 9,9 | 10,4 | 14,8 | 10,7 | 15,3 | 3,5 |
| скважина № 1077 | | | | | | | | | |
| мин. | 15,2 | 12 | 10,8 | 3 | 3 | 5,9 | 2,9 | 3,6 | 0,7 |
| макс. | 36,4 | 25 | 14,2 | 7,4 | 7,6 | 15,1 | 8,1 | 11,6 | 17,9 |
| ср. | 28,4 | 18,4 | 12,6 | 5,6 | 5,1 | 10,8 | 6,6 | 7,4 | 3,9 |

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов в почвах на следе радиоактивных выпадений в районе скважин № 1301 и № 1077, Бк/кг

| Точка отбора | Удельная активность, Бк/кг | | | | ¹³⁷ Cs/ ²⁴¹ Am |
|------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | ¹³⁷ Cs | ⁹⁰ Sr | ²⁴¹ Am | ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu | |
| скважина № 1301 | | | | | |
| П-1 | 36±7 | 24±5 | 24±5 | 190±40 | 1,5 |
| П-2 | 430±90 | 260±45 | 6±1,2 | 63±18 | 75 |
| П-3 | 9755±2000 | 5000±1000 | 34±7 | 585±120 | 290 |
| П-4 | 6250±1200 | 4820±900 | 17±3 | 390±100 | 360 |
| П-5 | 900±200 | 840±160 | 10±2 | 135±30 | 90 |
| П-6 | 52±10 | 30±6 | 9±2 | 125±25 | 6 |
| 1 | 74800±15000 | 46350±9000 | 160±30 | 4830±950 | 470 |
| 2 | 13630±3000 | 9000±2000 | 28±5 | 640±130 | 480 |
| 3 | 3710±700 | 2970±600 | 355±70 | 120±20 | 10 |
| 4 | 3340±600 | 2600±500 | 84±17 | 1160±200 | 40 |
| 5 | 1000±200 | 670±130 | 150±30 | 1230±200 | 7 |
| 6 | 900±200 | 500±100 | 75±15 | 260±50 | 10 |
| 7 | 490±100 | 45±9 | 34±7 | 80±15 | 15 |
| 8 | 250±50 | 28±6 | 50±10 | 160±30 | 5 |
| 9 | 210±40 | 92±18 | 22±4 | 270±50 | 9 |
| скважина 1077 | | | | | |
| 1 | 1860±400 | 40±8 | 42±8 | 23±8 | 44 |
| 2 | 24±5 | 20±4 | 6±1,2 | 70±9 | 4 |
| 3-1 | 1450±300 | 450±90 | 13±3 | 275±50 | 110 |
| 4-1 | 27±5 | 4±1 | 15±3 | 66±10 | 1,8 |
| 5-1 | 16±8 | - | 25±5 | 39±10 | 0,6 |
| 3-2 | 57±15 | <6 | 27±6 | 150±50 | 2 |
| 4-2 | 920±160 | - | 30±6 | 120±40 | 30 |
| 5-2 | 200±40 | - | 7±1,4 | 53±15 | 28 |

Характер и уровень загрязнения исследуемых почв. Данные о содержании искусственных радионуклидов в почвах в районе скважин № 1301 и № 1077 представлены в таблице 2.

Из таблицы видно, что почвы на следе радиоактивных выпадений в районе скважины № 1301 характеризуются высоким уровнем радиоактивного загрязнения. Основной вклад в загрязнение вносят продукты деления (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr), однако содержание трансурановых радионуклидов, в особенности ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, также значимое. В продольном профиле (т.1-9) по мере отдаления от места испытания удельная активность ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr постепенно снижается. В поперечном профиле отмечается схожая тенденция. В крайних точках поперечного профиля (т. П-1, т. П-6), удельная активность ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в почве соизмерима с фоновым содержанием данных радионуклидов в почвах СИП [20].

В характере пространственного распределения ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в районе скважины № 1301 закономерного изменения их удельной активности по следу

не наблюдается. Однако, существенно меняется соотношение удельной активности ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am. Вблизи места проведения испытания (т. 1-2, П-3, П-4) соотношение ¹³⁷Cs/²⁴¹Am наиболее высокое и по мере отдаления от него разница между удельной активностью ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am постепенно сокращается.

В почвах на следе радиоактивных выпадений в районе скважины № 1077 удельная активность ¹³⁷Cs сильно варьирует. Характер пространственного изменения его содержания по следам несколько хаотичен. В нескольких точках (т. 2, 4-1, 5-1, 3-2) удельная активность радионуклида находится на уровне фоновых значений для СИП [20], либо отклоняется от них незначительно. Данные точки, очевидно, не характеризуют исследуемое загрязнение. В некоторых точках (т. 1, 3-1, 4-2, 5-2) уровень загрязнения почвы ¹³⁷Cs значительный, а также заметно отличается соотношение ¹³⁷Cs/²⁴¹Am. При этом данные точки в пространственном отношении расположены в разных местах следа и на некотором расстоянии друг от друга, что может свидетельствовать о том, что радио-

активное загрязнение почвы в действительности имеет пятнистый характер.

Характер загрязнения почвы ^{241}Am в районе скважины № 1077 заметно отличается от загрязнения ^{137}Cs . Удельная активность радионуклида по исследуемому следу распределена достаточно равномерно, вариативность значений невысокая. В точках с различным уровнем загрязнения соотношение удельной активности ^{137}Cs и ^{241}Am существенно различается. Вместе с тем, в некоторых местах на следе отмечается повышенное содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в почве (т. 3-1, 3-2, 4-2). Необходимо отметить, что для предполагаемых условий формирования радиоактивного загрязнения (истечение благородных газов) присутствие в почве трансурановых радионуклидов нехарактерно, так как они не имеют летучих и газообразных предшественников. Более того они относятся к классу тугоплавких радионуклидов и при подземных взрывах, которые не привели к нарушению почвенной толщи, как правило, задерживаются в полости взрыва. Трансурановые радионуклиды, присутствующие в данных почвах, вероятно, принадлежат иным испытаниям, радиоактивные выпадения которых оказали влияние на территорию площадки «Балапан». Также нельзя исключать вероятность выноса продуктов ядерного взрыва на дневную поверхность в результате проведения буровых работ до полости взрыва, которые нередко выполнялись в исследовательских целях после проведения подземных ядерных испытаний. На основании полученных данных об уровнях и характере загрязнения почвенного покрова предполагается, что из всех рассматриваемых проб наиболее достоверно характеризуют радиоактивное загрязнение, сформированное в результате испытания в скважине № 1077, точки 1, 3-1, 4-2 и 5-2.

Распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы. В качестве параметра распределения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{90}Sr по агрегатным фракциям почвы был использован коэффициент обогащения (K_o), определяемый как отношение удельной активности радионуклида в гранулометрической фракции ($A_{уд.}^{фр.}$) к его удельной активности в исходной почве ($\bar{A}_{уд.}^п$) согласно формуле:

$$K_o = A_{уд.}^{фр.} / \bar{A}_{уд.}^п$$

K_o является показателем степени обогащенности или обедненности агрегатных фракций радионуклидами относительно их среднего содержания в почве.

Значения K_o агрегатных фракций почвы на следе радиоактивных выпадений в районе скважины № 1301 представлены в таблице 3.

В поперечном профиле, за исключением двух крайних точек (т. П-1, т. П-6), преобладающая аккумуляция ^{137}Cs отмечается в крупнодисперсных фрак-

циях почвы. Наибольшие значения K_o установлены во фракции размером 500–1000 мкм. Вместе с тем, содержание радионуклида во фракции размером <1 мкм также несколько повышено. В точках, расположенных на периферии профиля (т. П-1, т. П-6), крупнодисперсные фракции почвы заметно обеднены ^{137}Cs . Преимущественное обогащение радионуклидом в них выявлено во фракции размером <1 мкм. При этом значения K_o в данной фракции значительно выше, чем в остальных точках профиля. В продольном профиле выраженной дифференциации содержания радионуклида в агрегатных фракциях почвы не наблюдается.

Распределение ^{90}Sr по агрегатным фракциям почвы в поперечном профиле характеризуется схожей тенденцией, что и распределение ^{137}Cs . Отличается только незначительным обеднением фракции размером <1 мкм в точках П-2 – П-4. В продольном профиле преимущественная аккумуляция ^{90}Sr выявлена в крупнодисперсных фракциях размером 250–500 мкм и 500–1000 мкм. По мере отдаления от места проведения испытания отмечается некоторое снижение значения K_o фракции размером 500–1000 мкм и увеличение значения K_o фракции размером 250–500 мкм. Тонкодисперсные фракции, в особенности фракция <1 мкм, обеднены радионуклидом.

В характере распределения ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ отмечаются схожие тенденции. Крайние несколько точек поперечного профиля отличаются доминирующим содержанием радионуклидов во фракциях размером микроагрегатов менее 100 мкм. В средней части профиля (т. П-3 – П-4) преимущественная аккумуляция радионуклидов установлена в крупнодисперсных фракциях, в особенности во фракции размером 500–1000 мкм. Схожая тенденция также отмечается в точках, расположенных вблизи места проведения испытания (т. 1-2) в продольном профиле. В последующих точках (т. 3-9) наиболее высокие значения K_o сосредоточены во фракциях размером 8–40 мкм и 5–8 мкм. При этом значения K_o данных фракций повышенные.

Значения K_o агрегатных фракций почвы на следе радиоактивных выпадений в районе скважины № 1077 представлены в таблице 4.

Распределение ^{137}Cs по агрегатным фракциям почв в районе скважины № 1077 характеризуется тенденцией наибольшего обогащения им тонкодисперсных фракций, в особенности фракции размером <1 мкм. При этом существенного отличия характера распределения в точках с различным уровнем радиоактивного загрязнения не наблюдается. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что механизм формирования загрязнения почвы продуктами деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) при условии истечения радиоактивных инертных газов по своей природе сходен с таковым при «фоновом» загрязнении, т.е. при глобальных выпадениях.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ В РАЙОНЕ
ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СКВАЖИНАХ НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»**

Таблица 3. Ко агрегатных фракций почвы радионуклидами в районе скважины № 1301

| Точка отбора | Фракция, мкм | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|---------|---------|--------|-------|------|------|-------|------|
| | 1000-500 | 500-250 | 250-100 | 100-63 | 63-40 | 40-8 | 8-5 | 5-1 | <1 |
| ¹³⁷Cs | | | | | | | | | |
| П-1 | 0,22 | 0,25 | 0,67 | 0,72 | 0,61 | 0,97 | 1,08 | 2,08 | 3,33 |
| П-2 | 1,73 | 1,45 | 1,31 | 0,87 | 0,73 | 0,66 | 0,68 | 0,87 | 1,48 |
| П-3 | 2,05 | 1,85 | 1,74 | 1,33 | 1,03 | 0,82 | 0,62 | 0,72 | 0,78 |
| П-4 | 1,49 | 1,30 | 1,38 | 0,91 | 0,74 | 0,70 | 0,59 | 0,90 | 1,15 |
| П-5 | 2,21 | 1,66 | 1,22 | 0,75 | 0,74 | 0,73 | 0,59 | 0,70 | 1,11 |
| П-6 | 0,38 | 0,59 | 0,69 | 0,84 | 0,77 | 1,13 | 1,17 | 1,48 | 3,45 |
| 1 | 1,15 | 1,34 | 1,60 | 1,28 | 1,11 | 0,71 | 0,59 | 0,84 | 0,90 |
| 2 | 1,39 | 1,17 | 1,17 | 0,81 | 0,81 | 0,88 | 0,73 | 0,88 | 1,69 |
| 3 | 1,43 | 1,27 | 1,02 | 0,70 | 0,73 | 0,94 | 0,81 | 0,97 | 1,54 |
| 4 | 1,65 | 1,77 | 1,23 | 0,72 | 0,75 | 0,90 | 0,75 | 0,72 | 1,32 |
| 5 | 0,74 | 1,47 | 1,27 | 0,79 | 0,79 | 0,89 | 0,86 | 0,98 | 1,67 |
| 6 | 1,04 | 1,68 | 1,01 | 0,65 | 0,71 | 0,76 | 0,97 | 1,68 | 0,61 |
| 7 | 1,21 | 1,78 | 0,98 | 0,70 | 0,70 | 0,84 | 0,88 | 1,06 | 1,49 |
| 8 | 0,60 | 1,47 | 1,03 | 0,83 | 0,83 | 0,87 | 0,91 | 1,23 | 1,91 |
| 9 | 0,82 | 1,68 | 0,91 | 0,86 | 0,77 | 0,86 | 0,96 | 1,10 | 1,63 |
| ⁹⁰Sr | | | | | | | | | |
| П-1 | 0,76 | 0,81 | 0,89 | 0,89 | 1,19 | 0,55 | 0,98 | 1,40 | 2,21 |
| П-2 | 2,03 | 1,95 | 1,80 | 1,19 | 0,92 | 0,63 | 0,51 | <0,15 | 0,42 |
| П-3 | 2,79 | 2,19 | 1,99 | 1,91 | 1,65 | 0,28 | 1,02 | 0,30 | 0,40 |
| П-4 | 1,84 | 2,05 | 1,65 | 1,06 | 0,85 | 0,66 | 0,25 | 0,23 | 0,27 |
| П-5 | 3,10 | 1,91 | 1,31 | 0,94 | 0,66 | 0,58 | 0,31 | 0,42 | 0,48 |
| 1 | 1,90 | 1,77 | 2,37 | 2,03 | 1,34 | 0,73 | 0,37 | 0,22 | 0,32 |
| 2 | 1,55 | 1,66 | 0,51 | 1,11 | 1,09 | 0,77 | 1,66 | 0,43 | 0,37 |
| 3 | 2,26 | 1,11 | 1,14 | 0,64 | 0,91 | 0,91 | 0,51 | 0,57 | 0,57 |
| 4 | 1,96 | 2,96 | 1,27 | 0,58 | 0,88 | 0,81 | 0,46 | 0,38 | 0,42 |
| 5 | 1,06 | 1,64 | 1,64 | 0,78 | 1,02 | 0,99 | 0,82 | 0,19 | 0,87 |
| 6 | 1,02 | 2,21 | 0,92 | 1,03 | 0,72 | 0,98 | 0,42 | 1,04 | 0,88 |
| 7 | 1,34 | 3,08 | 1,41 | 0,45 | 0,33 | 0,74 | 0,13 | 0,65 | 0,25 |
| 8 | 0,64 | 3,74 | 0,53 | 0,82 | 0,43 | 0,43 | 0,39 | 0,39 | 0,14 |
| 9 | 0,97 | 1,95 | 1,03 | 0,97 | 0,87 | 0,76 | 0,65 | 1,08 | 0,76 |
| ²⁴¹Am | | | | | | | | | |
| П-1 | 0,06 | 0,11 | 0,17 | 1,51 | 1,72 | 1,13 | 0,92 | 1,43 | 2,44 |
| П-2 | 0,27 | 0,41 | 0,57 | 0,11 | 1,52 | 1,22 | 1,05 | 1,77 | 1,86 |
| П-3 | 2,56 | 2,16 | 2,07 | 1,66 | 2,27 | 0,64 | 0,32 | 0,35 | 0,23 |
| П-4 | 1,85 | 1,45 | 1,39 | 0,81 | 0,69 | 0,81 | 0,80 | 0,55 | 0,50 |
| П-5 | 0,59 | 0,35 | 0,43 | 0,57 | 1,15 | 2,40 | 1,25 | 0,58 | 0,81 |
| П-6 | 0,21 | 0,12 | 0,75 | 0,22 | 1,48 | 1,17 | 1,70 | 1,59 | 1,59 |
| 1 | 1,97 | 2,29 | 2,16 | 1,78 | 1,21 | 0,60 | 0,32 | 0,25 | 0,39 |
| 2 | 2,25 | 1,57 | 1,00 | 1,00 | 0,93 | 0,71 | 0,43 | 0,43 | 1,14 |
| 3 | 0,03 | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 5,39 | 0,09 | 0,04 | 0,03 |
| 4 | 0,13 | 0,15 | 0,10 | 0,14 | 0,12 | 1,19 | 3,56 | 1,66 | 2,61 |
| 5 | 0,02 | 0,02 | 1,42 | 0,25 | 0,74 | 1,28 | 3,98 | 0,33 | 0,74 |
| 6 | 0,07 | 0,05 | 0,12 | 0,43 | 0,33 | 0,43 | 7,07 | 0,80 | 0,93 |
| 7 | 0,10 | 0,09 | 0,15 | 0,42 | 0,28 | 0,95 | 3,58 | 3,28 | 1,61 |
| 8 | 0,03 | 0,08 | 0,11 | 0,22 | 0,59 | 4,87 | 0,57 | 0,97 | 0,95 |
| 9 | 0,09 | 0,18 | 0,09 | 0,45 | 0,26 | 2,93 | 1,44 | 1,35 | 3,25 |
| ²³⁹⁺²⁴⁰Pu | | | | | | | | | |
| П-1 | 0,04 | 0,10 | 0,35 | 0,52 | 1,25 | 1,19 | 0,78 | 2,08 | 3,79 |
| П-2 | 0,95 | 0,48 | 0,30 | 0,29 | 2,86 | 0,49 | 0,95 | 1,4 | 1,11 |
| П-3 | 3,07 | 3,25 | 2,56 | 1,40 | 1,30 | 0,63 | 0,27 | 0,22 | 0,34 |
| П-4 | 2,62 | 1,05 | 1,72 | 0,26 | 0,49 | 0,67 | 0,51 | 0,69 | 0,64 |
| П-5 | 1,56 | 0,89 | 0,64 | 3,11 | 0,89 | 0,60 | 0,42 | 0,89 | 0,60 |
| П-6 | 0,14 | 0,17 | 0,26 | 0,89 | 1,46 | 2,27 | 1,38 | 1,05 | 0,89 |
| 1 | 2,05 | 2,7 | 2,49 | 1,45 | 1,04 | 0,64 | 0,25 | 0,12 | 0,23 |
| 2 | 2,66 | 2,97 | 0,92 | 0,91 | 0,64 | 0,49 | 0,45 | 0,25 | 0,21 |
| 3 | 1,63 | 1,06 | 0,60 | 0,51 | 0,74 | 1,88 | 0,63 | 0,69 | 0,51 |
| 4 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,15 | 0,03 | 0,48 | 4,91 | 1,64 | 1,98 |
| 5 | 0,01 | 0,04 | 0,27 | 0,02 | 0,19 | 0,24 | 7,95 | 0,07 | 0,89 |
| 6 | 0,16 | 0,26 | 0,25 | 1,62 | 0,42 | 1,25 | 3,43 | 0,23 | 4,24 |
| 7 | 0,09 | 0,17 | 0,25 | 0,89 | 0,40 | 1,24 | 4,22 | 0,93 | 1,99 |
| 8 | 0,05 | 0,11 | 0,22 | 0,29 | 0,70 | 4,06 | 0,82 | 1,52 | 1,33 |
| 9 | 0,44 | 0,07 | 0,16 | 0,89 | 0,18 | 3,15 | 0,89 | 0,32 | 5,93 |

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ В РАЙОНЕ
ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СКВАЖИНАХ НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»**

Таблица 4. K_0 агрегатных фракций радионуклидами в районе скважины № 1077

| Точка отбора | Фракция, мкм | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|------|-------|
| | 1000–500 | 500–250 | 250–100 | 100–63 | 63–40 | 40–8 | 8–5 | 5–1 | <1 |
| ¹³⁷Cs | | | | | | | | | |
| 1 | 0,39 | 0,65 | 1,18 | 1,18 | 0,97 | 1,51 | 1,94 | 2,15 | 2,69 |
| 2 | 0,28 | 0,41 | 1,45 | 1,82 | 1,12 | 1,33 | 1,95 | 2,65 | 2,44 |
| 3-1 | 0,53 | 0,69 | 0,96 | 0,83 | 0,83 | 1,03 | 1,24 | 1,51 | 1,31 |
| 4-1 | 0,35 | 0,55 | 1,24 | 1,42 | 0,76 | 1,31 | 1,82 | 2,44 | 2,51 |
| 5-1 | <0,46 | 0,53 | 1,03 | 2,19 | 1,22 | 1,16 | 1,48 | 2,44 | 3,67 |
| 3-2 | 0,31 | 0,38 | 1,03 | 2,09 | 2,09 | 2,27 | 2,62 | 2,79 | 3,66 |
| 4-2 | 0,29 | 0,58 | 0,99 | 1,42 | 1,20 | 1,31 | 1,96 | 2,61 | 3,70 |
| 5-2 | 0,27 | 0,45 | 0,79 | 1,14 | 1,39 | 1,49 | 2,08 | 3,17 | 4,22 |
| ⁹⁰Sr | | | | | | | | | |
| 1 | 1,25 | 0,62 | 0,48 | 0,19 | 0,51 | 0,84 | 1,76 | 4,30 | 3,93 |
| 2 | 0,44 | 1,81 | 2,69 | 0,88 | 0,44 | 0,44 | <0,34 | 0,83 | <0,15 |
| 3-1 | 0,25 | 0,29 | 0,36 | 0,60 | 1,43 | 1,54 | 1,50 | 2,24 | 1,23 |
| 4-1 | <0,86 | <1,91 | 1,3 | 1,51 | 1,3 | <0,86 | 1,03 | 2,81 | 2,60 |
| ²⁴¹Am | | | | | | | | | |
| 1 | <0,03 | <0,08 | <0,05 | 8,09 | <0,06 | 2,05 | 0,55 | 0,43 | 0,88 |
| 2 | 0,15 | 0,35 | 0,46 | 0,61 | 0,99 | 2,31 | 4,28 | 2,14 | 4,28 |
| 3-1 | <0,13 | <0,13 | 0,31 | 1,56 | <0,23 | 2,82 | 0,70 | 3,04 | 0,50 |
| 4-1 | <0,05 | 0,17 | 0,16 | 0,34 | 0,19 | 4,08 | 4,27 | 0,99 | 1,30 |
| 5-1 | <0,16 | <0,12 | 0,23 | 1,39 | 0,53 | 4,90 | 2,08 | 1,47 | 1,47 |
| 3-2 | <0,04 | <0,05 | <0,04 | 0,10 | 0,33 | 2,06 | 1,29 | 3,27 | 62,45 |
| 4-2 | 0,13 | 0,16 | <0,10 | 1,04 | 1,60 | 1,90 | 4,34 | 3,07 | 2,54 |
| 5-2 | <0,15 | 1,15 | <0,39 | <1,21 | 1,44 | 2,12 | 1,52 | 2,88 | 2,42 |
| ²³⁹⁺²⁴⁰Pu | | | | | | | | | |
| 1 | 0,70 | 0,61 | 0,15 | 0,39 | 0,29 | 1,79 | 2,79 | 3,62 | 5,23 |
| 2 | 0,08 | 0,20 | 0,06 | 0,17 | 0,27 | 5,87 | 2,43 | 0,73 | 2,00 |
| 3-1 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,17 | 0,31 | 0,31 | 0,10 | 5,09 |
| 4-1 | 0,26 | 0,53 | 0,21 | 0,54 | 0,76 | 1,12 | 3,63 | 2,57 | 5,60 |
| 5-1 | 0,49 | 0,41 | 0,74 | 0,74 | 1,28 | 2,05 | 1,41 | 3,07 | 3,84 |
| 3-2 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,15 | 0,19 | 7,38 | 0,11 | 2,75 | 32,87 |
| 4-2 | 0,17 | 0,17 | 0,12 | 1,79 | 0,77 | 1,96 | 2,13 | 4,18 | 4,78 |
| 5-2 | 0,15 | 0,10 | 0,19 | 1,14 | 1,14 | 3,43 | 1,52 | 4,19 | 1,52 |

В обоих случаях к загрязнению почвенного покрова продуктами деления приводит осаждение мелкодисперсных аэрозольных частиц, образованных результате сорбции либо конденсации газообразных радиоактивных продуктов на мелкозернистых частицах в атмосфере и их дальнейшего радиоактивного распада [16, 21].

В целом, преимущественная аккумуляция ⁹⁰Sr происходит в тонкодисперсных фракциях почвы размером менее 5 мкм. Однако, в силу недостаточности данных не удастся дать объективную оценку характера распределения ⁹⁰Sr по агрегатным фракциям почвы в исследуемом районе.

Преобладающее содержание ²⁴¹Am сосредоточено в тонкодисперсных фракциях почвы размером менее 40 мкм. Однако, за исключением единичных случаев, в значительной степени радионуклид аккумулярован во фракциях размером от 5 до 40 мкм. Схожая тенденция отмечается и в характере распределения ²³⁹⁺²⁴⁰Pu. Наряду с существенной аккумуляцией радионуклида во фракции размером <1 мкм, отмечается повышенное его содержание во фракции размером 8–40 мкм.

Графики, представленные на рисунках 2 и 3, наглядно демонстрируют особенности распределения радионуклидов по агрегатным фракциям почв на исследуемых объектах. В качестве интегрального пока-

зателя для построения графиков использованы средние значения K_0 фракций. При этом из расчета среднего значения K_0 исключены результаты, полученные в местах (точках), не характеризующих соответствующее радиоактивное загрязнение. Так, из расчета средних значений K_0 фракций для ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в районе скважины № 1301 исключены крайние точки поперечного профиля (П-1, П-6). Вместе с тем, средние значения K_0 для ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu рассчитаны для двух условных зон, различающихся по характеру распределения радионуклидов по агрегатным фракциям почвы: зона 1 – близлежащая к месту проведения испытания, характеризующаяся наибольшим накоплением радионуклидов в крупнодисперсной фракции почвы (т. ПЗ–П4, 1-2); зона 2 – последующая за 1-й условной зоной, характеризующаяся наибольшим накоплением радионуклидов в тонкодисперсных фракциях почвы (т. 4-9).

На следе в районе скважины № 1077 расчет средних значений K_0 фракций для ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr производился с использованием результатов, полученных в точках 1, 3-1, 4-2, 5-2, так как они в наибольшей степени характеризуют данное загрязнение. В расчетах средних значений K_0 для ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu использовался весь массив полученных данных, поскольку выраженной трансформации характера распределения радионуклидов по следу не установлено.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СКВАЖИНАХ НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»

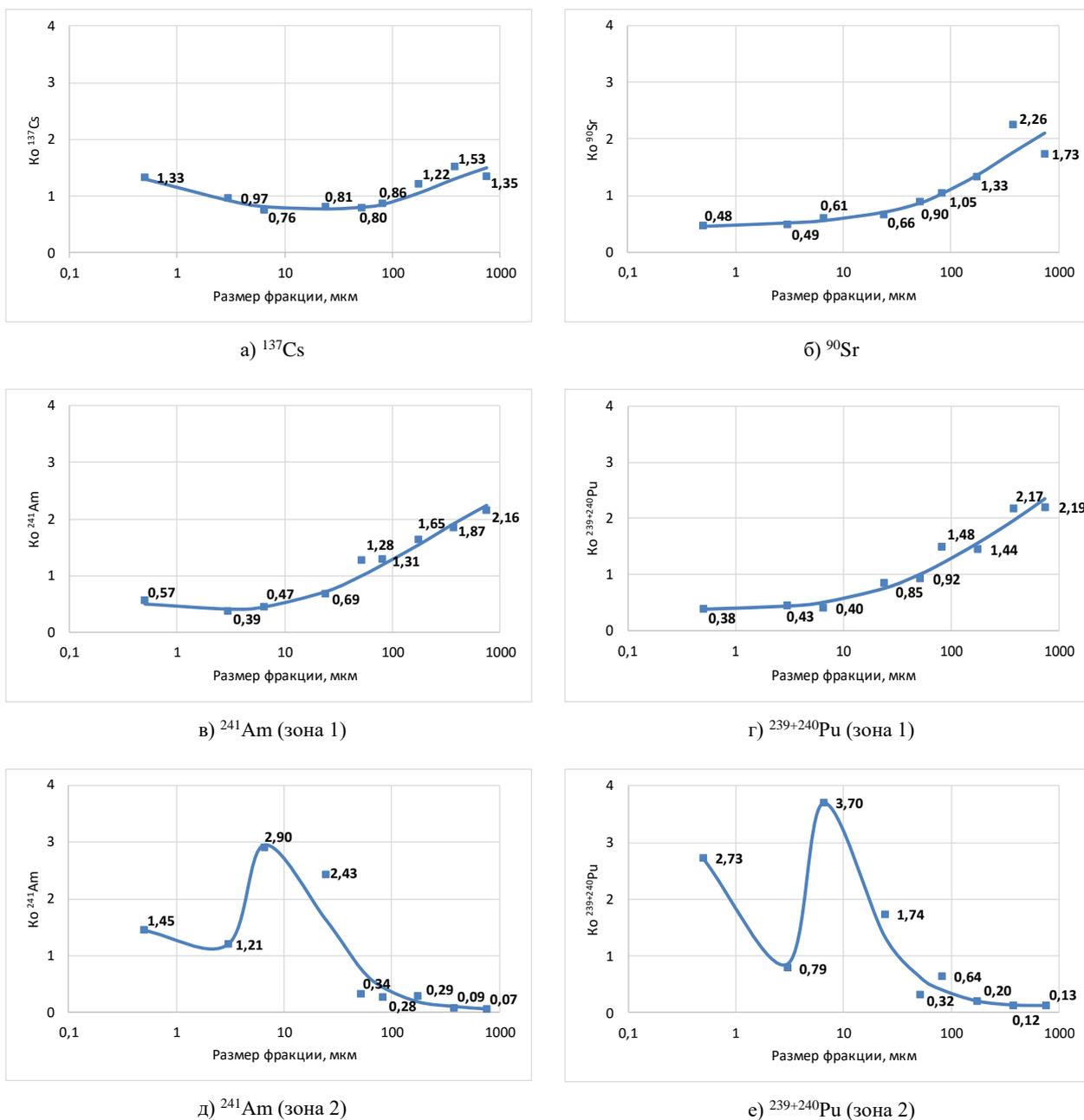


Рисунок 2. Распределение искусственных радионуклидов по агрегатным фракциям почвы в районе скважины № 1301

Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr на следе радиоактивных выпадений в районе скважины № 1301 можно охарактеризовать тенденцией наибольшей их аккумуляции в крупнодисперсных фракциях почвы, несмотря на то, что для ^{137}Cs она выражена в незначительной степени. В характере распределения ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ можно выделить две различающиеся тенденции. Первое – преимущественное обогащение радионуклидами крупнодисперсных фракций размером от 250 до 1000 мкм, характерное для местности, прилегающей к месту проведения испытания (рисунки 2 в, г). Второе – преимущественное обогащение фракций размером от 5 до 40 мкм, установленное на удалении

от места проведения испытания (рисунки 2 д, е). Таким образом, на следе радиоактивных выпадений в районе скважины № 1301 можно выделить две условные зоны, различающиеся по характеру распределения трансурановых радионуклидов. Такая особенность распределения радионуклидов по агрегатным фракциям почвы имеет сходство с таковой на следе радиоактивных выпадений от экскавационного взрыва в районе «Атомного озера». На основании полученных результатов можно полагать, что характер распределения радионуклидов, в особенности трансурановых, отражает первичные условия формирования радиоактивного загрязнения на местности.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СКВАЖИНАХ НА ПЛОЩАДКЕ «БАЛАПАН»

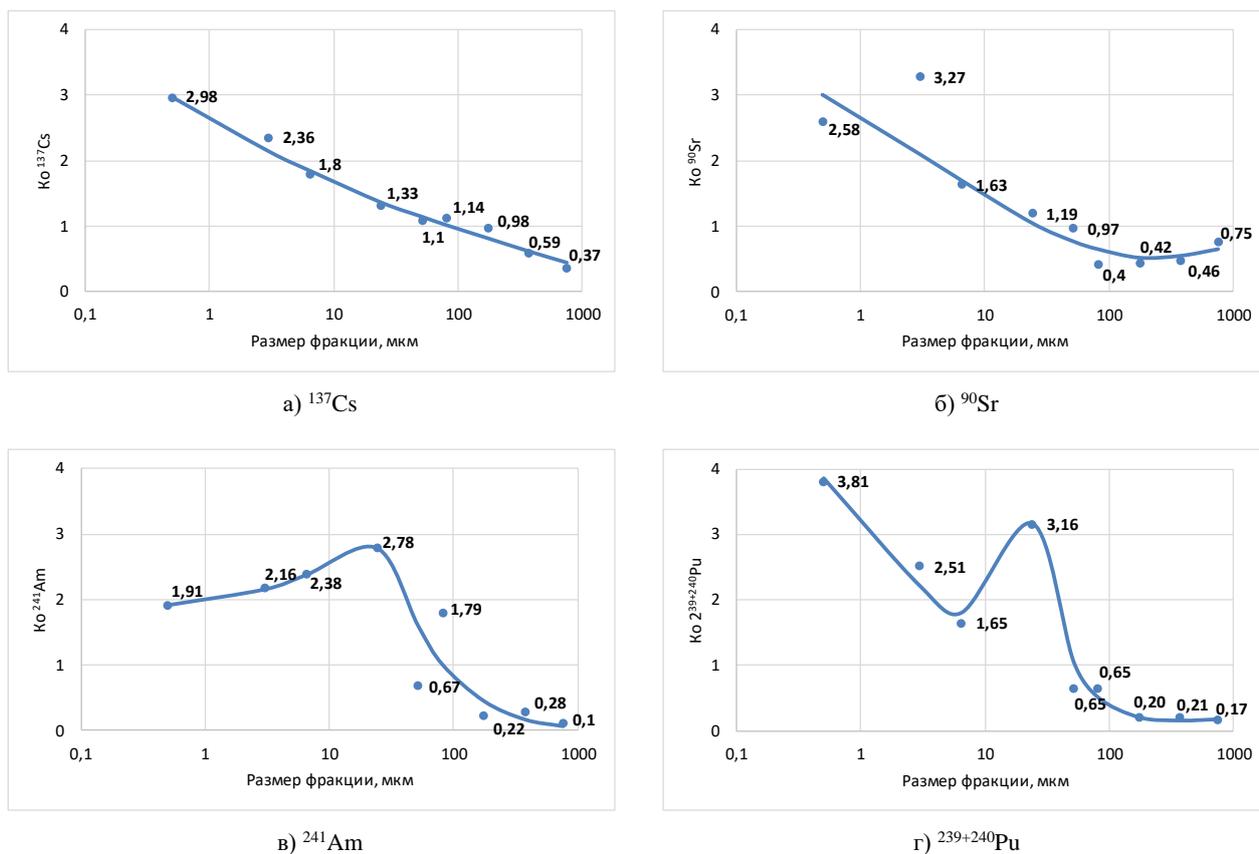


Рисунок 3. Распределение искусственных радионуклидов по агрегатным фракциям почвы в районе скважины № 1077

Как отмечалось ранее, первоначальным механизмом загрязнения почв продуктами деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) на следе радиоактивных выпадений от подземного ядерного испытания с истечением радиоактивных инертных газов является выпадение из атмосферы мелкодисперсных аэрозольных частиц, образованных в результате конденсации на них газообразных продуктов ядерного взрыва. Отмеченная специфика первичных условий формирования загрязнения, очевидно, проявляется в характере распределения продуктов деления по агрегатным фракциям почвы на следе в районе скважины № 1077. Кроме того, известно, что такие аэрозольные частицы характеризуются высокой растворимостью и подвижностью радионуклидов [21, 22]. В этой связи аккумуляция ^{137}Cs и ^{90}Sr в тонкодисперсных фракциях также может являться признаком вторичного перераспределения радионуклидов, под которым подразумевается высвобождение радионуклидов из первичных выпадений и их дальнейшее включение в сорбционно-десорбционные процессы.

Из графиков, представленных на рисунке 3 видно, что характер распределения трансурановых (^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$) радионуклидов в районе скважины № 1077 имеет схожие тенденции с таковым на следе радиоактивных в районе скважины № 1301. В обоих случаях наряду с тонкодисперсной фракцией размером

<1 мкм, существенная аккумуляция радионуклидов происходит во фракциях средних размеров (от 5 до 40 мкм). Преимущественное обогащение данных фракций ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ также установлено на следе экскавационного взрыва, проведенного на площадке «Балапан». Данное обстоятельство может свидетельствовать о том, что испытание, проведенное в скважине № 1077, не является основным источником поступления трансурановых радионуклидов в исследуемые почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средние значения K_0 , установленные для всего диапазона рассматриваемых размеров фракций, в районе скважин № 1301 и № 1077 на площадке «Балапан» составили:

– в районе скважины № 1301 – для ^{137}Cs – 0,8–1,5, для ^{90}Sr – 0,3–2,5, для ^{241}Am – 0,1–3, для $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,1–4.

– в районе скважины № 1077 – для ^{137}Cs и ^{90}Sr – 0,4–3, для ^{241}Am – 0,1–3, для $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,1–4.

Распределение радионуклидов по фракциям почвенных агрегатов в районе скважины № 1301 имеет следующие особенности: 1) наибольшая аккумуляция продуктов деления (^{137}Cs и ^{90}Sr) происходит в крупнодисперсных фракциях (от 250 до 1000 мкм; 2) существуют два отличающиеся характера (тенденций) распределения ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$. В ближней зоне

следа, прилегающей к месту проведения взрыва (до 250 м), радионуклиды в наибольшей степени сконцентрированы в крупнодисперсных фракциях (от 250 до 1000 мкм), на удаленном участке следа (от 700 до 2500 м) – в тонкодисперсных фракциях (5–8 мкм, <1 мкм).

В районе скважины № 1077 распределение радионуклидов по фракциям почвенных агрегатов характеризуется концентрированием радионуклидов в тон-

кодисперсных фракциях почвы: ^{137}Cs и ^{90}Sr – во фракциях размером менее 5 мкм, ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – во фракциях размером менее 40 мкм.

Таким образом, полученные результаты показали, что характер распределения радионуклидов в местах проведения подземных ядерных испытаний в скважинах на площадке «Балапан» существенно различается в зависимости от условий формирования радиоактивного загрязнения местности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон. Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний / Под ред. В.А. Логачева. – М.: ФУ «Медбиоэкстрем», 1997. – 344 с.
2. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности их при проведении / Кол. авторов под рук. проф. В.А. Логачева. – М.: Изд.АТ, 2001. – 519 с.
3. Семипалатинский испытательный полигон. Создание деятельности, конверсия: монография / Под ред. В. С. Школьника. – Алматы, 2003. – 344с.
4. Назарбаев Н. А. Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние / Н. А. Назарбаев, В. С. Школьник, Э. Г. Батырбеков, С.А. Березин, С.Н. Лукашенко, М.К. Скаков. – Курчатов, РГП НЯЦ РК, 2016. – Т. 2. – 448 с.: Илл. 220 с.
5. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Оптимизация исследований территории Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот / под рук. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2015. – 356 с.: ил. – Библиогр.: с. 332–349.
6. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненной по РЦНТП «Развитие атомной энергетики в Казахстане» за 2000 г.: отчет о НТД (информационный) / Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК (ИРБЭ НЯЦ РК); рук. Птицкая Л.Д. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2000. – 72 с.
7. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненной по РЦНТП «Развитие атомной энергетики в Казахстане» за 2001 г.: отчет о НТД (информационный) / Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК (ИРБЭ НЯЦ РК); рук. Птицкая Л.Д. – Курчатов, 2001. – 77 с.
8. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного по РЦНТП «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» за 1999-2003 г.: отчет о НТД (заключительный) / Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК (ИРБЭ НЯЦ РК); рук. Птицкая Л.Д. – Курчатов, 2003. – 117 с. – Инв. № О-464.
9. Kabdyrakova, A.M. Technogenic radionuclides distribution in grain-size fractions of soil in the area of excavation nuclear test («Atomic lake») / A.M. Kabdyrakova, A.T. Mendubaev, N.V. Larionova // the 8th International Symposium on «In situ nuclear metrology as tool for radioecology»: full text book. – Kusadasi, 2019. – P. 51–54.
10. Кабдыракова, А.М. Распределение искусственных радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы в районе проведения экскавационного ядерного взрыва («Атомное озеро») / А.М. Кабдыракова, А.Т. Меньдубаев, Н.В. Ларионова // Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы развития научно-технического потенциала: тез. докл. VIII междунар. конф., 21–23 сентября 2016 г / Национальный ядерный центр Республики Казахстан. – Курчатов, 2018. – С. 55.
11. Кабдыракова, А. М. Исследования распределения техногенных радионуклидов по гранулометрическим фракциям почв Семипалатинского испытательного полигона / А. М. Кабдыракова, С. Н. Лукашенко, А. Е. Кундузбаева, Л. В. Ларионова // Взгляд молодых ученых на современные проблемы развития радиобиологии, радиоэкологии и радиационных технологий: сб. докл. молодеж. конф. с междунар. участием, 7–8 сентября 2016 г. / ФГБНУ ВНИИРАЭ. – Обнинск, 2016. – С. 102–110.
12. Ахметов, Е.З. Распределение цезия-137 и америция-241 по гранулометрическим фракциям почвенного грунта на площадках Азгирского полигона / Е.З. Ахметов, Ж.И. Адымов, А.С. Ерматов, А.К. Калиева, В.В. Поденежко, В.В. Сметаников // Вестник НЯЦ РК. – 2001. – Вып. 3. – С. 47–50.
13. Полешко, А.Н. Ликвидация последствий ядерных испытаний на полигоне «Азгир» и современная радиационная обстановка / А.Н. Полешко., С.Н. Лукашенко, В.Н. Глушенко, Е.З. Ахметов, Б.Т. Мухамбетжанов, М.А. Севериенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сб. тр. Национального ядерного центра РК за 2010 г.] / под. рук. С.Н. Лукашенко. – Павлодар: Дом печати, 2011. – С. 201–246.
14. Ахметов, Е.З. Азгирский полигон (объект «Галит»): ретроспектива и современное состояние / Е.З. Ахметов, Д.Г. Гильманов // Вестник НЯЦ РК. – 2001. – Вып. 3. – С. 51–56.
15. Отчет по Республиканской бюджетной программе 008 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан», мероприятию 1 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» за 2015 г.: отчет (информационный) // ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов, 2015. – 148 с.
16. Ядерные испытания СССР. / Кол. авторов под ред. В.Н. Михайлова. – М. : ИздАТ, 1997. – Т.2. – 304 с.; ил.
17. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на γ -спектрометре: МИ 2143–91. – Введ. 1998–06–02. – Рег. № 5.06.001.98. – М. : НПО ВНИИФТРИ, 1991. – 17 с.

18. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». - Зарегистрирован РГП «Казахстанский институт метрологии» № KZ.07.00.00303-2014 от 25.06.2014 г. – М.: Центр метрологии ионизирующих излучений ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2014.
19. Методика выполнения измерений «Определение удельной активности искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды: почвах, грунтах, донных отложениях и растениях» МЭ РК. – Зарегистрирован РГП «Казахстанский институт метрологии», № KZ.07.00.03445-2016 от 24.11.16 г. Алматы: РГП «Институт ядерной физики», 2017.
20. Каширский, В.В. О некоторых параметрах радионуклидного загрязнения бывшего Семипалатинского испытательного полигона / В.В. Каширский, С.Н. Лукашенко, Ю.Ю. Яковенко, Е.В. Романенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 г.]. – Вып. 4. – Т. 2. – Павлодар: Дом печати, 2013. – С. 9–24.
21. Марей, А.Н. Глобальные выпадения цезия-137 и человек / А.Н. Марей, Р.М. Бархударов, Н.Я. Новикова. – М.: Атомиздат, 1974. – 168 с.
22. Павлоцкая, Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф.И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1974. – 216 с.

«БАЛАПАН» АЛАҢЫНДАҒЫ ҰҢҒЫМАЛАРДА ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАР ӨТКІЗІЛГЕН АУМАҚТА ТОПЫРАҚТЫҢ АГРЕГАТТЫҚ ФРАКЦИЯЛАРЫ БОЙЫНША ЖАСАНДЫ РАДИОНУКЛИДТЕРДІҢ ТАРАЛУЫ

А.М. Қабдырақова, А.Т. Мендубаев

ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан

Бұл жұмыста, радиациялық ахуалының нақты сипаты бойынша ерекшеленетін жерасты ядролық сынақтары іске асырылған № 1301 және № 1077 (бұрынғы «Балапан» сынақ алаңы) – екі ұңғыманың аумағында радиоактивті түсу іздерінде топырақтың агрегаттық фракциялары бойынша жасанды радионуклидтердің таралуын зерттеу нәтижелері келтірілген. Жарылыстың радиоактивті өнімдерінің атмосфераға күтпеген шығарындылары ілескен жерасты ядролық жарылыс жасалған № 1301 ұңғыманың аумағында ^{137}Cs және ^{90}Sr кішігірім аккумуляциясы көлемі 250 бастап 1000 мкм дейінгі аралықтағы фракцияларда өтеді. ^{241}Am және $^{239+240}\text{Pu}$ таралуы – басым күйде іздің жақын жатқан аймағында (250 м дейін) көлемі 250 бастап 1000 мкм дейінгі фракциялармен байытылған және басым күйде іздің алыс жатқан аймағында (700 бастап 2500 м дейінгі аралықта) 5–8 мкм және <1 мкм дейінгі фракциялармен байытылған бір-бірінен ерекшеленетін үрдіспен сипатталады. Жерасты жарылыстары радиоактивті инертті газдардың өтуі ілескен деп болжанған № 1077 ұңғыманың аумағында ^{137}Cs және ^{90}Sr басым түрде көлемі 5 мкм төмен фракцияларда, ^{241}Am және $^{239+240}\text{Pu}$ – көлемі 8–40 мкм және <1 мкм фракцияларда шоғырланған.

Кілт сөздер: Семей сынақ полигоны (ССП), «Балапан» алаңы, жерасты ядролық сынақтары, ұңғыма, жасанды радионуклидтер, цезий (^{137}Cs), стронций (^{90}Sr), америций (^{241}Am), плутоний ($^{239+240}\text{Pu}$), топырақ, агрегатты фракциялар.

DISTRIBUTION OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN AGGREGATE FRACTIONS OF SOILS IN THE VICINITY OF UNDERGROUND NUCLEAR TESTS CONDUCTED IN BOREHOLES AT “BALAPAN” SITE

A. Kabdyrakova, A. Mendubayev

Branch “Institute of Radiation Safety and Ecology” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper provides findings on distribution of artificial radionuclides in aggregate fractions of soils in radioactive fallout plumes near two Boreholes – 1301 and 1077 (the former ‘Balapan’ testing area), in which underground nuclear tests were conducted that differed in the nature of the real radiological situation. In the vicinity of Borehole 1301 in which an underground nuclear explosion was accompanied by the unforeseen release of debris into the atmosphere, the highest accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr occurs in 250 to 1,000 μm fractions. Distribution of ^{241}Am and $^{239+240}\text{Pu}$ is characterized by two different tendencies – the predominant enrichment of 250 to 1,000 μm fractions in the near zone of the plume (up to 250 m) and predominantly enriched fractions of 5–8 μm and <1 μm in the distant plume area (700 to 2,500 m). Near Borehole 1077, near which the underground explosion is assumed to have been accompanied by escaping radioactive inert gases, ^{137}Cs and ^{90}Sr are mainly concentrated in less than 5 μm fractions, ^{241}Am and $^{239+240}\text{Pu}$ – in fractions of 8–40 μm and <1 μm .

Keywords: Semipalatinsk Test Site (STS), “Balapan” site, underground nuclear tests, borehole, artificial radionuclides, cesium (^{137}Cs), strontium (^{90}Sr), americium (^{241}Am), plutonium ($^{239+240}\text{Pu}$), soil, aggregate fractions.