МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Республиканское государственное предприятие
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»
(Филиал ИРБЭ РГП НЯЦ РК)

Сысоева Елена Сергеевна

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ

Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР
молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан

(прикладные исследования)

Руководитель: Ларионова Н.В., ученый секретарь
Института радиационной безопасности и экологии, к.б.н., PhD

Курчатов 2020 г.

АВТОР

Сысоева Елена Сергеевна

Специалист-эколог Лаборатории радиоэкологических исследований Отдела комплексных исследований экосистем
филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» Республиканского государственного предприятия «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»,
1993 года рождения,
окончила Семипалатинский государственный университет им. Шакарима в 2015 г.,
специальность – «Экология»,
квалификация по диплому – «Бакалавр экологии»,
работает в ИРБЭ НЯЦ РК с 2018 г.,
общий стаж работы 2 года.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Специалист-эколог лаборатории радиоэкологических исследований отдела комплексных исследований экосистем _____ Е.С. Сысоева
подпись, дата

Ученый секретарь Института радиационной безопасности и экологии, к.б.н.,PhD _____ Н.В. Ларионова
подпись, дата

СЫСОЕВА ЕЛЕНА СЕРГЕЕВНА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ

Работа, представляемая на конференцию-конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан
от Филиала «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК»

Конкурсная работа содержит 15 страниц, 11 рисунков, 1 таблицу, 7 источников.

Объект исследования: образцы почвы и лесной подстилки, отобранные на территории ленточного соснового бора.

Цель работы: изучить содержание и распределение искусственных радионуклидов в лесной подстилке соснового бора Прииртышья в отдаленный период после ядерных испытаний на территории Семипалатинского испытательного полигона.

Задачи исследования:

- определить содержание радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}$Pu в верхнем почвенном слое, а также в минеральной и органической составляющих подстилки;
- изучить распределение и сравнить содержание радионуклидов в верхнем почвенном слое и компонентах лесной подстилки;

Методика исследований: исследование распределения радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}$Pu осуществляли путем проведения полевых, лабораторных, камеральных работ, обработки данных и анализа полученных результатов. *Полевые работы*: выбор исследовательских площадок, измерение радиационных параметров (плотности потока β-частиц и мощности эквивалентной дозы (МЭД), отбор проб почвы и подстилки. *Лабораторные работы*: подготовка проб к анализам, проведение радионуклидного анализа проб подстилки и почвы. *Камеральные работы*: обработка и анализ полученных данных.

Результат работ: Определено содержание радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}$Pu в верхнем почвенном слое, а также в минеральной и органической составляющих подстилки.

Изучено распределение радионуклидов в верхнем почвенном слое и компонентах лесной подстилки. На основании полученных данных был составлен следующий ряд по степени накопления ^{241}Am: *минеральная составляющая подстилки> органическая часть подстилки> верхний почвенный слой*. Для ^{137}Cs ряд накопления следующий: *минеральная составляющая подстилки> верхний почвенный слой> органическая часть подстилки*.

Согласно полученным данным для ^{90}Sr ряд накопления следующий: *органическая часть подстилки> верхний почвенный слой> минеральная составляющая подстилки*.

Для $^{239+240}$Pu ряд накопления следующий: *органическая часть подстилки> минеральная составляющая подстилки> верхний почвенный слой*.

Актуальность проблемы: лесная подстилка является одним из важнейших факторов, обусловливающих продолжительность закрепления радиоактивных элементов в отмерших растительных остатках и скорость их высвобождения в процессе ее разложения. Таким образом, основная часть загрязнений оказывается в составе подстилки, что определяет ее как основной компонент характеризующий загрязнение лесной экосистемы в целом.

Научная новизна: впервые изучено распределение радионуклидов в компонентах лесной подстилки в отдаленный период времени после радиоактивных выпадений, впервые рассчитана мощность подстилки, изучено распределение в компонентах лесной подстилки трансурановых радионуклидов.

Практическая ценность: результаты исследования могут быть применены при изучении параметров перехода радионуклидов в лесной экосистеме, а также для прогнозирования и теоретической оценки миграционной способности радионуклидов в ней.

Личный вклад автора: проведение полевых работ, обработка и анализ полученных данных.

Перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц и терминов

Бк/кг – Беккерель на килограмм
МЭД – мощность эквивалентной дозы
р-н – район
СИП – Семипалатинский испытательный полигон
УА – удельная активность

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…… 6
1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ……. 7
2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ……. 8
2.1. Содержание радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}Pu$ в верхнем почвенном слое, а также в минеральной и органической составляющих подстилки..... 8
2.2. Распределение радионуклидов в верхнем почвенном слое и компонентах лесной подстилки ……. 8
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…… 14
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ……. 15

ВВЕДЕНИЕ

К главным первичным поглотителям радионуклидов в лесных экосистемах можно отнести листву и хвою деревьев, лесной подрост, а также лесную подстилку. Радиоактивные вещества могут смываться осадками, попадать на поверхность почвы при сбрасывании растением листьев, а также при отмирании стеблей (например, травы). Только мхи и лишайники могут удерживать в своем составе радионуклиды неопределенно продолжительное время. Таким образом, независимо от времени года, в которое произошло выпадение, основная часть загрязнений оказывается в составе подстилки

Лесную подстилку можно разделить на три слоя, отличающихся по степени разложения опада. Верхний слой L — опад, состоит из свежеопавших бурых листьев или хвои, веточек. Можно легко определить части растений. Средний слой F — слой медленного разложения и ферментатизации вещества, состоит из буровато-серых, в значительной степени сохранивших скелет и измельченных растительных остатков. Определить их принадлежность к тому или иному растению можно лишь по наиболее крупным частям растений. Часто в этом слое поселяются грибы. Нижний слой H (слой гумификации) — черный, черно-бурый, равномерно перемешанный, нередко оструктуренный, состоит из хорошо разложившегося однородного органического вещества. Тесно связан с минеральной частью почвы [1].

С течением времени максимальное количество радионуклидов перемещается из слоя L в нижележащие слои ферментативнвый (F) и гумусовый (H). Это происходит в результате абиотической миграции в составе нисходящего потока почвенной влаги, а также за счет ежегодного погребения слоя L, новыми порциями поверхностного опада и постепенной трансформации слоев в направлении L → F → H. Слой подстилки H обладает резко повышенными сорбционными свойствами по отношению к любым загрязняющим веществам, поэтому максимальное содержание радионуклидов в течение десятков лет наблюдается именно в данном слое почвы или на контакте этого слоя с минеральным горизонтом (A1; A1A2; AE), которые и выполняют основные барьерно-геохимические функции по отношению к радионуклидам в лесных экосистемах. В минеральной части почвы происходит резкое уменьшение содержания радионуклидов с глубиной [2].

Процессы миграции радионуклидов в лесных биогеоценозах имеют ряд специфических особенностей по сравнению с другими природно-растительными сообществами, обусловленных большей площадью надземной фитомассы, многолетним циклом развития растений, наличием лесной подстилки и т.д. [3,4].

Таким образом, лесная подстилка первым почвенным горизонтом, в котором происходит накопление и трансформация радионуклидов, откуда начинается их миграция. Способность подстилки удерживать в своем составе радионуклиды также зависит от ее мощности. Радионуклиды, поступившие в лесные подстилки и верхние горизонты почв, перераспределяются со временем так, что обогащают ниже лежащие почвенные слои подвижными соединениями. При этом разлагающиеся лесные подстилки являются потенциальным источником поступления подвижных форм радионуклидов в почву [5].

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведение полевых работ

В качестве исследовательских площадок выбирались участки леса в границах прохождения следа от испытания 1949 года, с предполагаемо повышенным содержанием радионуклидов в компонентах природной среды. Всего заложено 36 исследовательских площадок (рисунок 1). С каждой площадки отобраны пробы подстилки и смешанные пробы почвы (методом конверта на глубину 5 см). Объектами исследования стали образцы почвы и лесной подстилки, отобранные на территории ленточного соснового бора (Рисунок 1). С каждой площадки отобраны пробы подстилки и смешанные пробы почвы (методом конверта на глубину 5 см).

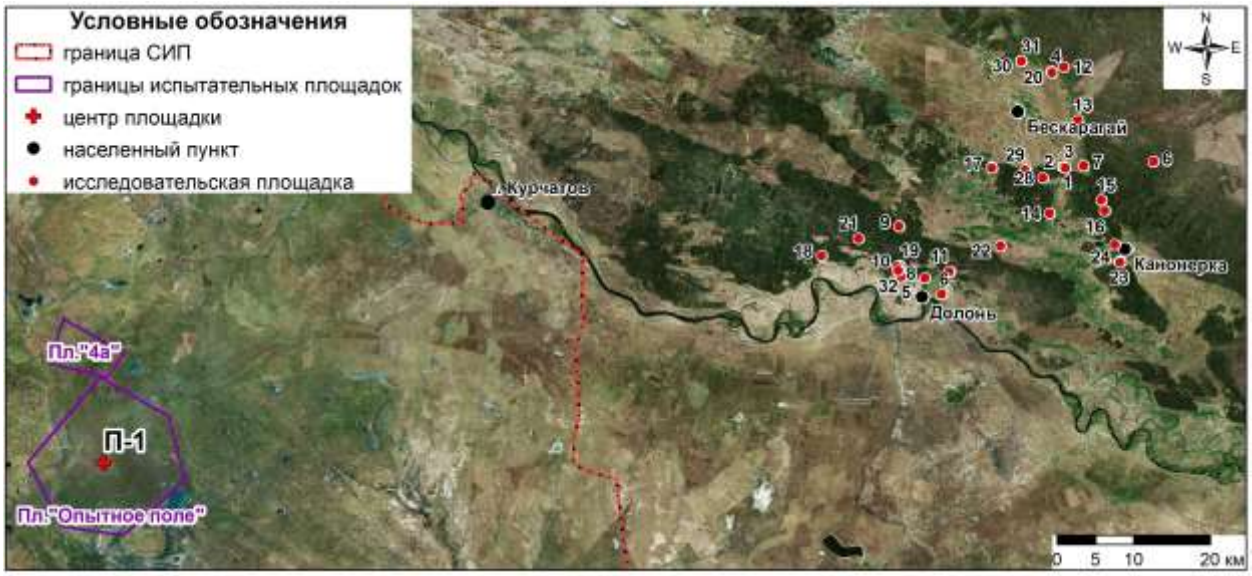


Рис.1. Точки отбора проб подстилки и верхнего почвенного слоя.

Подготовка проб подстилки и почв для радионуклидного анализа

Подстилка просушивалась в естественных условиях. Далее для разделения органической составляющей от минеральной, просевалась через сито диаметром 2 мм. Органическая составляющая подстилки обугливалась на электроплитках до образования черного остатка, измельчалась до однородной массы на лабораторной мельнице. Далее образцы помещались в тигли для дальнейшего озоления. Первоначальную температуру повышали до 200 °С в течении 50–60 минут, после чего устанавливали предельную температуру в муфельной печи: температура озоления для дальнейшего определения ^{137}Cs составляла 400 °С, ^{90}Sr, ^{241}Am и $^{239+240}$Pu — до 550 °С.

Пробы почвы высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильных шкафах при температуре 50–60 °С. После удаления крупных камней и включений (растительного остатка) высушенные пробы взвешивали на технических весах. Далее весь объем пробы тщательно перемешивали, постепенно растирая в фарфоровой ступке с помощью пестика и просеивания через сито диаметром отверстий 1 мм. Полноту просеивания проверяли встряхиванием каждого сита над листом бумаги.

Измерение удельной активности ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am и $^{239+240}$Pu

Измерение удельной активности радионуклидов в пробах осуществляли в соответствии со стандартизированными методическими указаниями. Определение удельной активности гамма-излучающих радионуклидов проводилось с использованием гамма-спектрометра Canberra GX-2020 [6]. ^{90}Sr и $^{239+240}$Pu определяли радиохимическим выделением с последующим измерением на бета-спектромертре TRI–CARB2900 TR и альфа-спектрометре Canberra (мод. 7401) [7]. Предел обнаружения по ^{241}Am и ^{137}Cs составил 0,1 Бк/кг, ^{90}Sr – <1 Бк/кг, $^{239+240}$Pu – 0,5 Бк/кг соответственно. Погрешность измерения для ^{137}Cs и ^{241}Am не превышала 10-20 %, для ^{90}Sr – 15-25 %, $^{239+240}$Pu – 30 %.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

2.1. Содержание радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}$Pu в верхнем почвенном слое, а также в минеральной и органической составляющих подстилки.

Результаты измерения удельной активности искусственных радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}$Pu в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое представлены в таблице 1.

Таблица 1. Удельная активность радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}$Pu в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое.

	Удельная активность ^{241}Am, Бк/кг	**Удельная активность ^{90}Sr, Бк/кг**	**Удельная активность $^{239+240}$Pu, Бк/кг**	**Удельная активность ^{137}Cs, Бк/кг**
Органическая часть подстилки	$\frac{3 \pm 1}{0{,}3 - 19\ (n - 21)}$	$\frac{30 \pm 7}{1{,}4 - 190\ (n - 33)}$	$\frac{34 \pm 16}{0{,}3 - 320\ (n - 31)}$	$\frac{42 \pm 13}{1{,}1 - 370\ (n - 33)}$
Минеральная часть подстилки	$\frac{3 \pm 1}{0{,}9 - 9{,}7\ (n - 19)}$	$\frac{12 \pm 2}{1{,}4 - 48\ (n - 21)}$	$\frac{66 \pm 28}{1{,}9 - 370\ (n - 21)}$	$\frac{63 \pm 15}{2{,}7 - 350\ (n - 32)}$
Верхний почвенный слой	$\frac{2 \pm 0{,}3}{0{,}5 - 5{,}1\ (n - 20)}$	$\frac{17 \pm 4}{1{,}1 - 71\ (n - 25)}$	$\frac{33 \pm 10}{0{,}7 - 240\ (n - 28)}$	$\frac{36 \pm 5}{4{,}3 - 120\ (n - 31)}$

В числителе – среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического. В знаменателе минимальная и максимальная удельная активность, n – количество исследуемых образцов.

Минимальная удельная активность выявлена для ^{241}Am. Большее содержание радионуклидов установлено для $^{239+240}$Pu и ^{90}Sr. Максимальная удельная активность в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое отмечена для ^{137}Cs.

Различия диапазонов значений удельной активности в органической части подстилки для ^{137}Cs, ^{90}Sr и ^{241}Am в среднем составляют два порядка, для $^{239+240}$Pu - три порядка.

Диапазоны значений удельной активности в минеральной составляющей подстилки для ^{90}Sr и ^{241}Am в среднем отличаются на один порядок, для ^{137}Cs и $^{239+240}$Pu – на два порядка.

В верхнем почвенном слое различия диапазонов значений удельной активности в среднем составляют один порядок для ^{241}Am и ^{90}Sr, два порядка для ^{137}Cs и три порядка для $^{239+240}$Pu.

Активность радионуклидов в органической, минеральной части подстилки и верхнем почвенном слое варьирует в среднем от 0,8 до 225 Бк/кг, от 2 до 194 Бк/кг и от 2 до 109 Бк/кг соответственно.

2.2. Распределение радионуклидов в верхнем почвенном слое и компонентах лесной подстилки

Согласно полученным данным было установлено, что удельная активность радионуклидов в среднем в подстилке больше чем в почве.

Рис.2. Среднее содержание ^{137}Cs в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое

Рис.3. Среднее содержание $^{239+240}Pu$ в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое

Рис.4. Среднее содержание ^{90}Sr в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое

Рис.5. Среднее содержание ^{241}Am в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое

На основании полученных данных был составлен следующий ряд по степени накопления ^{241}Am: *минеральная составляющая подстилки> органическая часть подстилки> верхний почвенный слой* (Рисунок 5).

Для ^{137}Cs ряд накопления следующий: *минеральная составляющая подстилки> верхний почвенный слой> органическая часть подстилки* (Рисунок 2).

Согласно полученным данным для ^{90}Sr ряд накопления следующий: *органическая часть подстилки> верхний почвенный слой> минеральная составляющая подстилки* (Рисунок 4).

Для $^{239+240}$Pu ряд накопления следующий: *органическая часть подстилки> минеральная составляющая подстилки> верхний почвенный слой* (Рисунок 3).

В ходе исследования для ^{241}Am, ^{137}Cs и $^{239+240}$Pu установлена зависимость между содержанием в верхнем почвенном слое и минеральной части подстилки (рисунок 6, 7, 8).

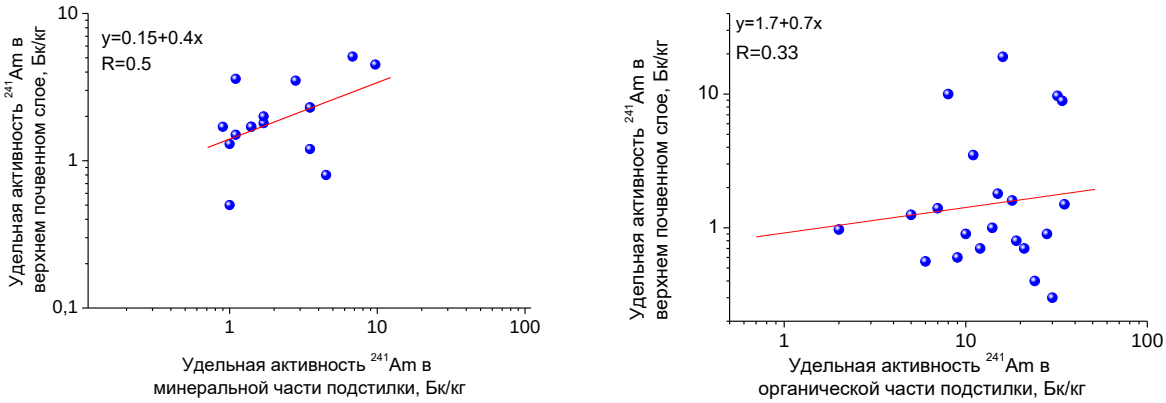


Рисунок 6. Зависимость между содержанием ^{241}Am в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое

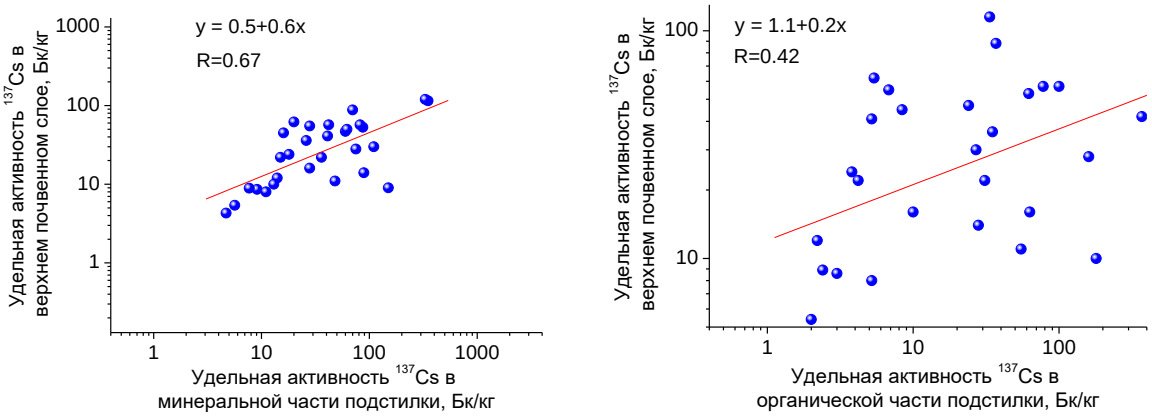


Рисунок 7. Зависимость между содержанием ^{137}Cs в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое

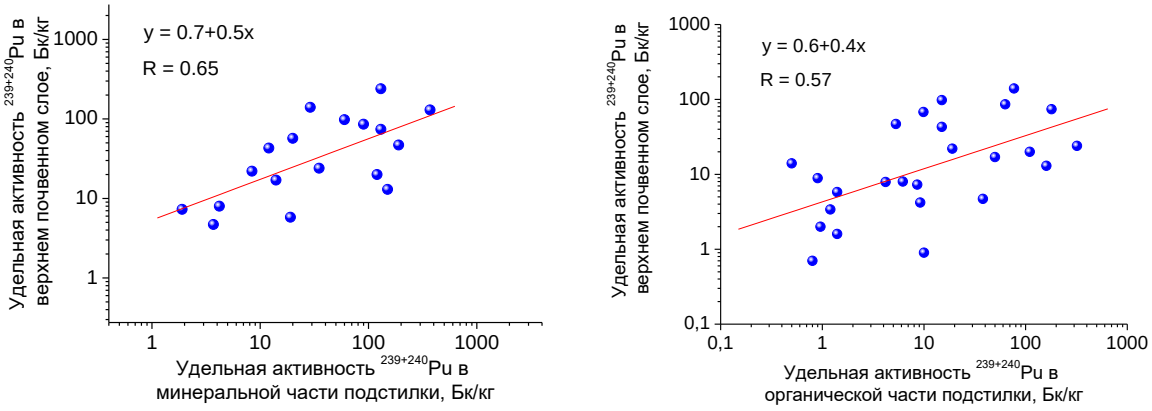


Рисунок 8. Зависимость между содержанием $^{239+240}$Pu в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое

Для ^{90}Sr установлена зависимость между содержанием в верхнем почвенном слое и органической части подстилки (рисунок 9).

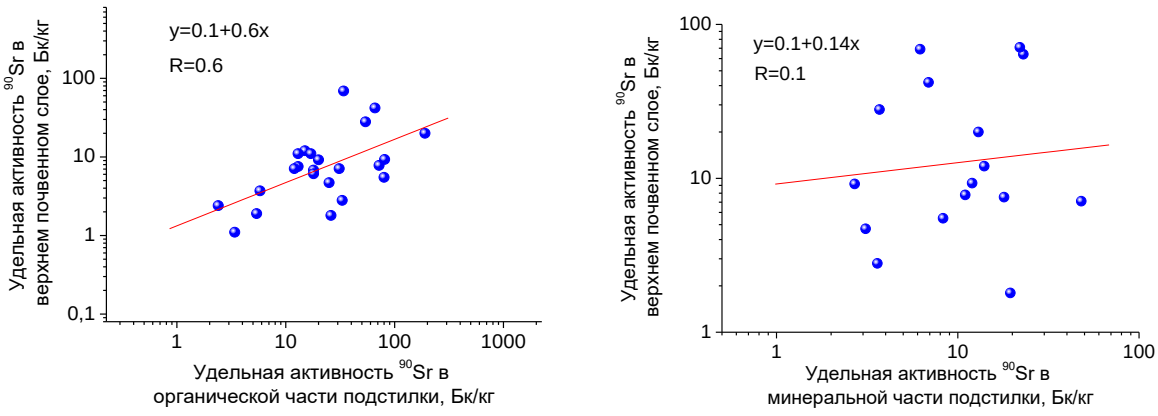


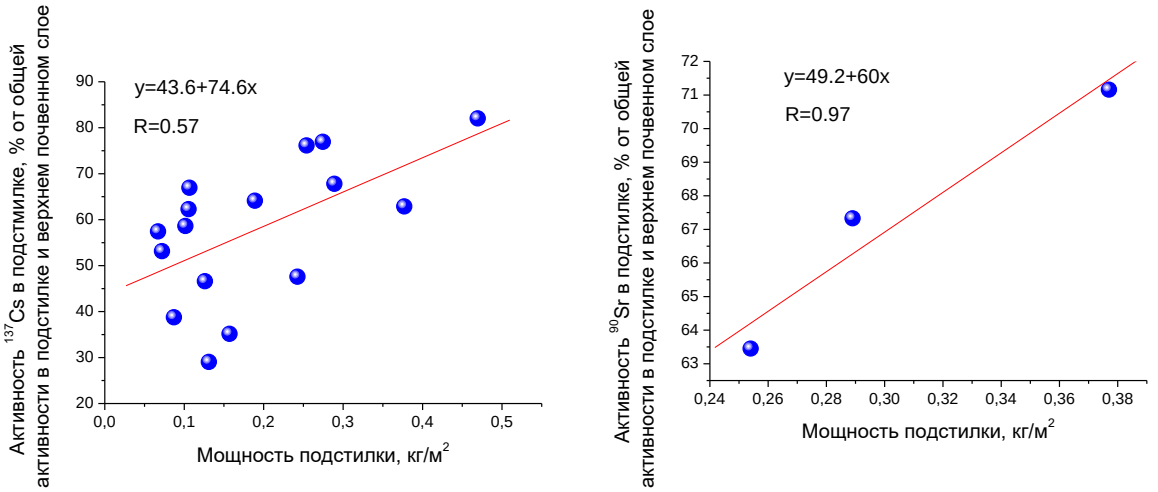
Рисунок 9. Зависимость между содержанием ^{90}Sr в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое

Причиной слабой вертикальной миграции ^{137}Cs является прочное его закрепление в почвенном поглощающем комплексе. Множество литературных данных для большинства лесных почв подтверждает, что основное накопление радионуклида наблюдается или в нижнем слое лесной подстилки, или в верхней части почвы, что подтверждается данными полученными в ходе исследования.

Большая часть ^{90}Sr представлена подвижными (водорастворимой и обменной) формами. Высокий показатель легкодоступной формы ^{90}Sr характеризует его интенсивную миграционную способность, что указывает на его более высокую мобильность и, следовательно, большую биологическую доступность для растений. Этим можно объяснить интенсивное накопление ^{90}Sr в органической части подстилки.

В результате проведенных исследований установлено, что основной запас трансурановых элементов (^{241}Am, $^{239+240}$Pu) содержится в подстилке. Большая часть ^{241}Am, $^{239+240}$Pu входит в состав малорастворимых комплексных соединений, что объясняет их малую подвижность и накопление в органической и минеральной составляющих подстилки.

Особая роль подстилки в процессах аккумуляции радиоактивных веществ во многом определяется ее строением и мощностью – массой подстилки на единице площади. В ходе исследований выявлено наличие связи между запасом лесной подстилки и накоплением радионуклидов в ее компонентах. Средняя мощность подстилки для исследуемой территории составляет 0,25 кг/м^2.



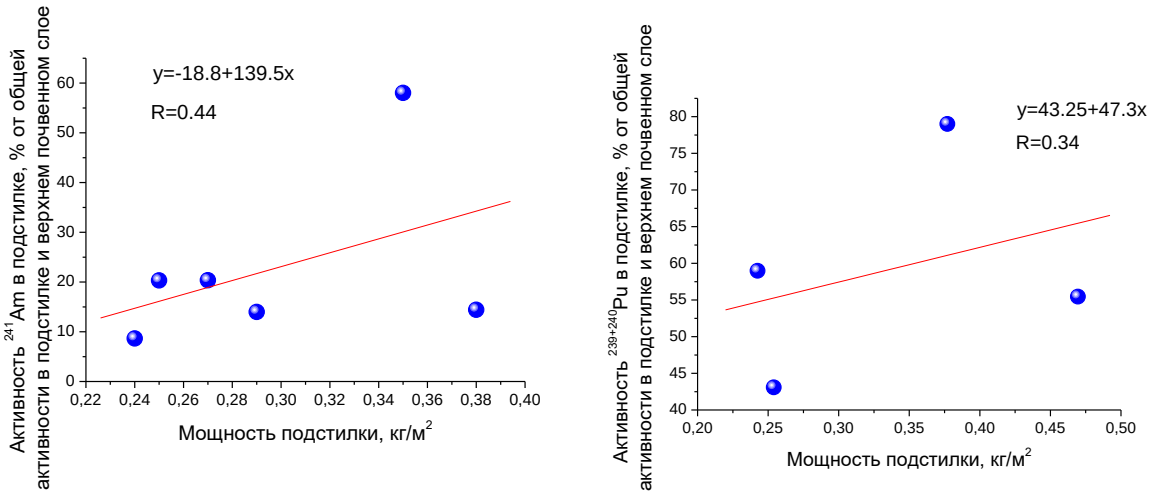
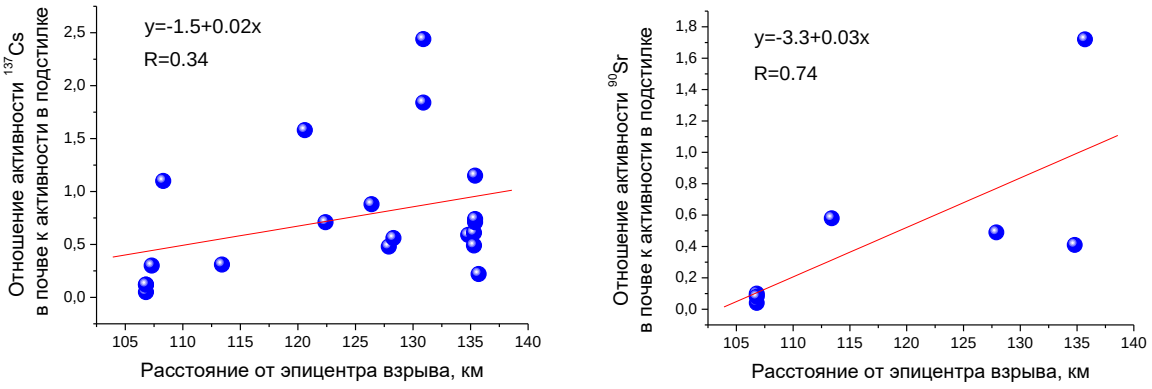


Рисунок 10. Изменение запаса радионуклидов в подстилке в зависимости от ее мощности.

Для всех изученных радионуклидов характерно усиление перехода из подстилки в почву с увеличением расстояния от эпицентра взрыва. Такое распределение обусловлено выпадением тяжелых менее доступных частиц в непосредственной близости от эпицентра взрыва. И возрастанием доли легкодоступных форм с увеличением расстояния.

Для ^{90}Sr отмечена зависимость между расстоянием от эпицентра взрыва и отношением активности в почве к активности в подстилке. У ^{241}Am, ^{137}Cs и $^{239+240}$Pu имеется более слабая корреляционная связь между расстоянием и отношением активности в почве к активности в подстилке (Рисунок 10).



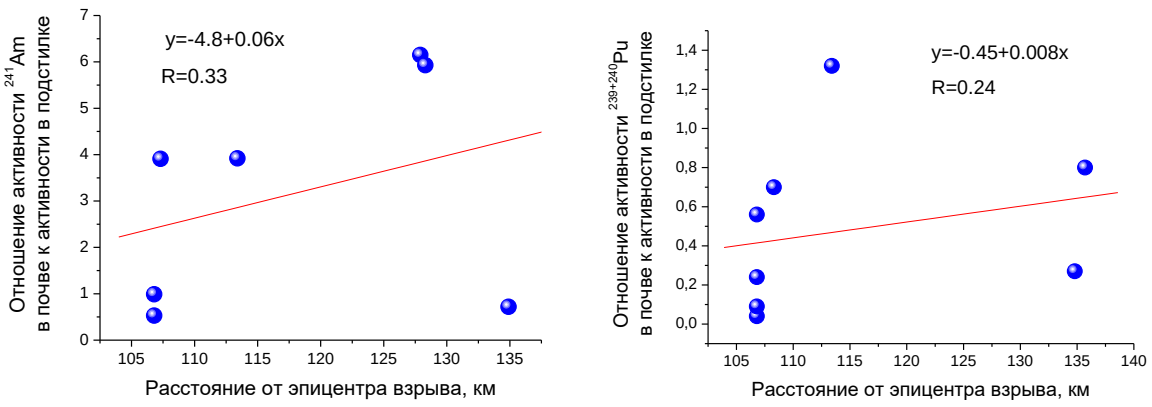


Рисунок 11. Зависимость между расстоянием от эпицентра взрыва и отношением активности в почве к активности в подстилке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследование определено содержание радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}Pu$ в верхнем почвенном слое, а также в минеральной и органической составляющих подстилки. Установлено, что максимальные значения удельной активности характерны для радионуклидов ^{137}Cs (до 370 Бк/кг) и $^{239+240}Pu$ (до 370 Бк/кг), меньшие концентрации характерны для ^{90}Sr (до 190±30 Бк/кг). Содержание ^{241}Am не превышает 19±2 Бк/кг.

На основании изучения распределения радионуклидов в верхнем почвенном слое и компонентах лесной подстилки установлены ряды по их способности к накоплению:

ряд по степени накопления ^{241}Am: *минеральная составляющая подстилки> органическая часть подстилки> верхний почвенный слой*.

ряд накопления ^{137}Cs: *минеральная составляющая подстилки> верхний почвенный слой> органическая часть подстилки*.

ряд накопления для ^{90}Sr: *органическая часть подстилки> верхний почвенный слой> минеральная составляющая подстилки*.

ряд накопления для $^{239+240}Pu$: *органическая часть подстилки> минеральная составляющая подстилки> верхний почвенный слой.*

Согласно полученным данным было установлено, что удельная активность радионуклидов в среднем в подстилке больше чем в почве. В среднем доля содержания радионуклидов составила 71% в подстилке (39% в органической и 32% в минеральной составляющих) и 29% в почве.

Установлена зависимость между содержанием радионуклидов ^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{241}Am, $^{239+240}Pu$ в компонентах лесной подстилки и верхнем почвенном слое. Для ^{90}Sr установлена зависимость между содержанием в верхнем почвенном слое и органической части, что объясняется более высокой его подвижностью.

Выявлено увеличение накопления радионуклидов в лесной подстилке с возрастанием ее мощности, что подтверждает особую роль подстилки в процессах накопления и распределения радионуклидов в лесной экосистеме в целом.

Установлено, что для всех изученных радионуклидов характерно усиление мобильности по мере удаления от эпицентра взрыва. Для ^{90}Sr отмечена зависимость между расстоянием от эпицентра взрыва и отношением активности в почве к активности в подстилке. У ^{241}Am, ^{137}Cs и $^{239+240}Pu$ имеется более слабая корреляционная связь между расстоянием и отношением активности в почве к активности в подстилке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Краснов В.П., Орлов А.А., Бузун В.О. и др. Прикладная радиоэкология леса. Житомир: Волынь, 2007. 680 с.

2 Дворник А.М. Радиоэкологическая оценка лесных экосистем после ядерных аварий: методология, моделирование, прогноз: Автореф. дис. … д-ра биол. наук: 06.03.03. Гомель: ИЛ НАНБ, 1998. 40 с.

3 Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: По материалам 10 летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука, 1999. 268 с.

4 Переволоцкий А.Н. Распределение 137Cs и 90Sr в лесных биогеоценозах: Гомель: РНИУП Институт радиологии, 2006. 255 с.

5 Куликов Н.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Радиоэкология почвенно-растительного покрова. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 172 с

6 Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-9:МИ 5.06.001.98 РК. – Алматы, 1998. – 18 с.

7 Методика определения содержания искусственных радионуклидов плутония-(239-240), стронция-90 в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, донных отложениях и растениях): Алматы, 2010. – 25 с.