

Лабораторная работа 4. МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗАХ

Наземными частями деревьев задерживается до 90% радиоактивных веществ, поступающих в атмосферу при радиационных авариях. В сосновых лесах оседает в 2–3 раза больше радионуклидов, чем в лиственных, и в 7–10 раз больше, чем на лугах и болотах. Леса задерживают радионуклиды, включают их в свой биогеохимический круговорот и препятствуют их дальнейшему переносу на сопредельные территории. Первоначальное загрязнение и удерживание радионуклидов в кроне – динамичные процессы, зависящие от таких факторов, как физико-химические свойства выпадений, погодно климатические условия, биологические особенности растений. Период получищения кроны соснового леса составляет 170–300, лиственного – 150–230, а травостоя – 14 дней. Метеорологические условия и опад листьев хвои и других частей деревьев способствуют переносу большинства радионуклидов из кроны на лесную подстилку, где они включаются в миграционные процессы. Основной путь загрязнения лесной растительности происходит в результате корневого поступления радионуклидов из подстилки и почвы.

На интенсивность миграции радионуклидов по вертикальному профилю в лесах оказывает влияние форма выпадения радионуклида. В первые 2 года из мелкодисперсных аэрозолей миграция более интенсивная, чем из “горячих” частиц, из которых миграция возрастает по мере их деструкции в более поздние годы. Минерализация опада, формирующего верхние органические слои подстилки, способствует высвобождению подвижных форм радионуклидов. Часть радионуклидов опада связывается органическим веществом подстилки в легко распадающиеся коллоиды, часть их мигрирует в несвязанном состоянии в нижележащие слои подстилки и верхние слои минеральной почвы. Через 15 лет после аварии на ЧАЭС 90–95% радионуклидов находилось в подстилке и верхнем (0–5 см) слое почвы. Чем больше в минеральной почве глинистых минералов, тем прочнее сорбируется в ней Cs-137, поэтому темпы его миграции резко снижаются. Sr-90 не фиксируется в минеральной фракции, поэтому он мигрирует в свободном состоянии более интенсивно.

Таким образом, основная масса различных форм радиоцезия находится в корнеобитаемом слое травянистой растительности, в зоне расположения грибного мицелия и в зоне расположения всасывающих корней кустарников и деревьев. Исходя из этого, растительность лесного ценоза может долгое время аккумулировать Cs-137 и формировать дополнительные дозовые нагрузки на организм человека в случае использования в пищу даров леса. Следует отметить, что накопление радиоцезия в лесных ягодах и грибах в 20–50 раз выше его концентрации в продуктах сельскохозяйственного производства.

Цель работы: изучить миграцию Cs-137 и K-40 по вертикальному профилю почвы лесного ценоза.

Материалы и оборудование: гамма-радиометр РКГ-01 “Алиот”, образцы проб лесной подстилки и почвы, отобранные через 1 см в вертикальном разрезе; весы лабораторные.

Выполнение работы. 1. Включить радиометр тумблером “сеть”, расположенным на задней панели прибора. Выдержать радиометр во включенном состоянии 10 мин.

2. Произвести измерение фона. Для этого установить в свинцовую защиту детекторного блока сосуд Маринели, закрыть крышку и нажать кнопку “пуск”. Через 10 мин. нажать кнопку “стоп”.

3. Произвести измерение удельной активности радионуклидов Cs-137 и K-40 в конкретных пробах. Сосуд Маринели заполнить исследуемой пробой до метки 0,5 или 1 л. и взвесить на лабораторных весах. Затем массу пустого сосуда (76 г) следует отнять от полученного результата. Значение массы пробы набрать на цифровом поле и нажатием кнопки “В” ввести в память процессора. Кнопкой “объем” задать объем измеряемой пробы. Нажать кнопку “пуск”. Максимальное время измерения проб – 10 мин. (прибор может закончить измерение раньше установленного времени автоматически при достижении заданной погрешности). После завершения измерения (в Бк/кг) снять показания радиометра

(информация о содержании К-40 в пробе выводится на индикатор путем нажатия кнопки “Ф”), затем путем нажатия кнопки “ед. измер” перевести результаты в Ки/кг.

Полученные результаты занести в отчет по работе в соответствии с табл. 23.

4. Толщина подстилки обычно составляет 10–20 см. Сложить активность подстилки и всех почвенных слоев по каждому радионуклиду и, приняв полученные значения за 100%, рассчитать процентное содержание Cs-137 и К-40 в каждом слое и подстилке.

Т а б л и ц а 23. Вертикальная миграция цезия-137 и калия-40 в лесном ценозе

Образец	Содержание ^{137}Cs		Содержание ^{40}K	
	Бк/кг	%	Бк/кг	%
Подстилка				
Почвенный слой, см:				
0–1				
1–2				
2–3				
3–...20				
Итого...		100		100

5. Построить график (или диаграмму) распределения радионуклидов по профилю почвы, для чего на оси абсцисс отложить значения почвенных слоев, на оси ординат – процентное содержание радионуклидов. По полученным результатам сделать выводы и записать в отчет по работе.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ НАКОПЛЕНИЕ ЦЕЗИЯ-137 И КАЛИЯ-40 РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЛЕСНОГО ЦЕНОЗА

Растительность лесного ценоза представлена различной флорой от низших до высших форм, которые формируют своеобразное сообщество, распределённое по ярусам произрастания.

По мере распада короткоживущих радионуклидов основную роль в загрязнении растительности стал играть цезий-137, в отдельных районах не исключается вклад стронция-90.

Поступление радионуклидов через корни зависит от многих факторов. Установлена прямая связь накопления радионуклидов лесной продукцией с плотностью загрязнения леса и с их содержанием в подстилке. Большую роль играют физико-химические свойства радионуклидов и форма нахождения их в зоне расположения корней. В первые годы после аварии Cs-137 поступал в 2– 10 раз активнее, чем Sr-90. Но со временем Cs-137 переходит в прочносвязанную форму в результате необменной фиксации в кристаллических решётках глинистых минералов, а Sr-90 остается в водорастворимой и обменной формах, поэтому его поступление может в несколько раз превосходить поступление Cs-137. Однако на гидроморфных почвах и на почвах с низким содержанием глинистых минералов поступление Cs-137 и Sr-90 примерно одинаковое. На песчаных почвах крупного гранулометрического состава, а также на кислых дерново-подзолистых почвах с малым содержанием обменных катионов поступление радионуклидов в растительность значительно возрастает. Кроме типа, состава и свойств почвы на поступление радионуклидов в объекты лесного ценоза оказывают влияние тип и структура биоценоза, место произрастания в нем объекта, погодно-климатические условия, а также биологические особенности, возраст и ярус в лесном ценозе. Межвидовые различия могут составлять 10 – 100 раз. Доказана связь накопления радионуклидов с ярусностью: максимальное накопление в нижнем ярусе, минимальное – в верхнем. Установлен убывающий ряд растительности по накоплению Cs-137:

мхи>лишайники>грибы>травянистые виды>кустарнички>кустарники> подлесок> подрост> деревья. Грибы и лишайники накапливают Cs-137 в 10 – 100 раз порядка больше, чем его концентрация в почве. Семейства растений по накоплению Cs-137 располагаются в следующем порядке: фиалковые (max), маковые, колокольчиковые, вересковые, крапивные, кипрейные, сложноцветные, губоцветные, зверобойные, норичниковые, брусничные, злаковые, лилейные, розоцветные, коноплевые (min).

Цель работы: определить содержание Cs-137 и К-40 в лесной растительности.

Материалы: гамма-радиометр РКГ- 01”Алиот”, образцы проб лесной растительности, весы лабораторные.

Выполнение работы. 1. Выполнить последовательно пункты 1– 3 работы 12. Результаты измерений записать в отчет по работе (табл. 24).

Т а б л и ц а 24. Содержание Cs-137 и К-40 в растительности лесного ценоза

Вид растительности	Содержание ¹³⁷ Cs		Содержание ⁴⁰ К	
	Бк/кг	Ки/кг	Бк/кг	Ки/кг
Лишайники				
Мхи				
Грибы				
Папоротники				
Разнотравье				
Кустарнички				
Кустарники				
Деревья				

По результатам измерений сравнить содержание Cs-137 и К-40 в растительности. Сделать вывод о накоплении этих радионуклидов в лесной растительности и указать среднюю кратность накопления у различных видов растительности по сравнению с деревьями.

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ДРЕВЕСИНЕ И ПОБЕГАХ ДЕРЕВЬЕВ

Радионуклиды поступают в корни древесных растений по тем же механизмам, что и в корни травянистых растений, т.е. это ионно-обменные реакции и диффузия. Мелкие корни поглощают в 2–3 раза больше радионуклидов, чем крупные. Большинство радионуклидов, поглощенных растением, оседает в корнях, однако Cs-137 и Sr-90 выносятся из корней в наземную часть на 60–80%, где они распределяются по растению и накапливаются в различных органах. Из наземной части с током продуктов обмена веществ радионуклиды вновь могут переноситься в корни, расположенные в глубоких горизонтах почвы. При гибели и рубке деревьев радионуклиды, содержащиеся в корнях, остаются на глубине проникновения корней, при разложении которых они высвобождаются, поступают в почву и могут мигрировать в водоносные горизонты. В период физиологического покоя перераспределения радионуклидов в наземные части не происходит.

В наземной части древесных растений радиоцезий распределяется неравномерно. Максимальное накопление Cs-137 обнаруживается в коре (45– 80%), в листьях или хвое (11– 40%), минимальное – в древесине (2– 8%).

Концентрация Cs-137 в древесине зависит от класса, роста и развития деревьев. При одинаковом возрасте деревьев в древесине крупных господствующих деревьев накапливается в 3–4 раза больше Cs-137, чем в древесине подчиненных деревьев. У подчиненных деревьев меньше освещенность и интенсивность фотосинтеза, меньше отток углеводов из листьев (хвои) в корни, поэтому ослабляется поглотительная и синтетическая деятельность корней. Влияние возраста проявляется в повышении концентрации Cs-137 в древесине более молодых деревьев, у которых процессы роста и всасывания радионуклидов идут гораздо интенсивнее, чем в старых деревьях. Распределение Cs-137 в древесине в радиальном направлении (от наружных годичных колец к центральным) зависит от времени

формирования годичных колец. Наибольшая концентрация Cs-137 – в наружных годичных слоях, при этом максимальная – в слое последнего года роста. У молодых деревьев разница по слоям может составлять до 10%, при этом 90% Cs-137 сосредоточено в послеаварийных слоях. В более старых деревьях в послеаварийной древесине содержится 30–55% Cs-137, а 45–70% распределено в доаварийных слоях, расположенных ближе к периферии. В то же время в центральной части древесины содержится меньше Cs-137, при этом накопление находится в прямой зависимости от плотности загрязнения почвы. Содержание Cs-137 в древесине послеаварийных слоев у молодых деревьев с течением времени может возрастать в 1,5, а у более старых – до 3 раз.

Классификация древесных пород по накоплению Cs-137 в древесине неоднозначна. Как правило, хвойные породы (ель, сосна) накапливают его меньше, чем лиственные (осина, береза и т. д.). По накоплению Cs-137 в побегах деревьев установлен убывающий ряд: дуб>осина>береза>ель>сосна>ольха.

Для всех пород деревьев коэффициент перехода Sr-90 выше, чем Cs-137. Это обусловлено тем, что в точке Sr-90 более подвижен и его доступность для растений мало связана с неоднородностью почвенно-экологических условий. Например, в 30 километровой зоне для древесины и сучьев сосны он больше в 11–13, березы и осины - в 9–16, ольхи дуба – 2–5 раз по сравнению с коэффициентом накопления Cs-137. Sr-90 накапливается преимущественно в стареющих элементах фитомассы (кора и хвоя прошлых лет), в отличие от него Cs-137 накапливается в активно растущих хвое и побегах текущего года. Во всех элементах фитомассы и древесине максимальное накопление Sr-90 – у осины, а минимальное – у дуба.

Цель работы: определить накопление Cs-137 и K-40 в древесине и побегах древесных пород.

Материалы и оборудование: гамма-радиометр РКГ-01 "Алиот", образцы древесной растительности, весы лабораторные.

Выполнение работы. Выполнить п. 1–3 работы 12. Результаты измерений записать в отчет по работе (табл. 25).

Т а б л и ц а 25. Содержание Cs-137 и K-40 в древесине и побегах деревьев

Древесина	Содержание, Бк/кг		Побеги	Содержание, Бк/кг		K _p
	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K		¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	
Сосна			Сосна			
Ель			Ель			
Дуб			Дуб			
Береза			Береза			
Осина			Осина			
Ольха			Ольха			
Липа			Липа			

Рассчитать во сколько раз накопление Cs-137 и K-40 в побегах превышает накопление в древесине (K_p). Для этого нужно активность побегов разделить на активность древесины. Сравнить содержание Cs-137 с Нормативами на содержание Cs-137 в продукции лесного хозяйства (прилож. 9). По результатам проведенных измерений сделать выводы о накоплении Cs-137 и K-40 в древесине и в побегах древесных пород, а также о возможных вариантах использования древесины.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ГРИБАХ И ЯГОДНИКАХ

К основной продукции леса, используемой человеком для употребления в пищу, относят грибы и ягоды (дары леса), а также мясо диких животных и птицы. Все продукты питания лесного происхождения имеют очень высокие концентрации радиоцезия, которые в несколько раз превышают республиканские допустимые уровни содержания Cs-137 и Sr-90

в пищевых продуктах. Грибы могут накапливать Cs-137 на 1–2 порядка больше, чем его концентрация в почве, и в десятки раз больше, чем растения, с которыми они находятся в симбиозе. Из минеральных элементов в плодовом теле грибов больше всего содержится калия (до 50 %), который является химическим аналогом цезия, поэтому грибы хорошо накапливают цезий.

Следует отметить, что цезий накапливается грибами интенсивнее, чем калий. На накопление Cs-137 в грибах оказывают влияние почвенно-экологические условия, плотность загрязнения почвы, видовые особенности, связанные с распределением мицелия в почвенном профиле. Межвидовые различия у грибов по накоплению Cs-137 достигают 10 раз, внутривидовые – 4–5 раз. Минимальное накопление Cs-137 наблюдается у грибов, относящихся к почвенным сапрофитам и ксилофитам-паразитам. Максимальное накопление у грибов, принадлежащих к группе микоризообразователей, которые имеют разную глубину расположения мицелия (от верхних слоев подстилки до глубины 50–60 см в минеральной почве). Микориза формируется в микро-зонах корней симбиотических древесных растений, где повышенная растворимость всех минеральных соединений и радионуклидов. Мелкие корни деревьев, через которые осуществляется всасывание, расположены в подстилке и верхнем 1–5 сантиметровом слое почвы, где сосредоточено до 90–95% Cs-137. Условно по накоплению Cs-137 в плодовых телах грибы разделяются на 4 группы:

1–я слабо накапливающие – зонтик пестрый, дождевик жемчужный, опенок осенний, вешенка (K_n до 5);

2–я средне накапливающие – подберезовик, белый гриб, подосиновик, рядовка серая, лисичка (K_n от 5 до 20);

3–я сильно накапливающие – черный груздь, зеленка, волнушка, сыроежки всех видов, моховик желто-белый, лесной шампиньон, горкушка (K_n от 20 до 50);

4–я аккумуляторы радиоцезия – польский гриб, свинушка толстая, масленок осенний (K_n более 50).

На накопление влияет режим увлажнения леса (на гидроморфных почвах коэффициент перехода в 4 раза больше) и плотность его загрязнения Cs-137 (прямая зависимость). Установлено, что в шляпках грибов накапливается в 1,5–3 раза больше Cs-137, чем в ножках. В молодых грибах содержание Cs-137 выше, чем в старых.

Грибы распределяются также и по накоплению Sr-90, однако коэффициенты перехода Sr-90 в плодовое тело грибов более чем в 100 раз ниже, чем Cs-137. Например, при одинаковой плотности загрязнения почвы у белого гриба коэффициент перехода Cs-137 составляет 3,64, а Sr-90 - всего 0,04.

Некоторые виды грибов используют для лечебных целей, из которых наиболее часто применяются чага и веселка. Эти грибы накапливают очень много Cs-137 в плодовых телах. Чага относится к грибам класса базидиомицетов. Чага – гриб, паразитирующий на березе. Веселка – почвенный сапрофит, относящийся к классу базидиомицетов и характеризующийся очень интенсивным делением клеток и ростом.

Содержание радионуклидов в ягодах находится в прямой зависимости от плотности загрязнения почвы. Например, содержание Cs-137 в чернике при плотности загрязнения почвы 15 Ки/км² составляет до 6000 Бк/кг, а при 1 Ки/км² – около 30 Бк/кг, при предельном допустимом содержании 185 Бк/кг. В чернике накопление Cs-137 в 2 раза больше, чем в землянике и в 5 раз больше, чем в малине. В ягодах содержание Cs-137 в 2–3 раза меньше, чем в листьях и стеблях. На болотных почвах по накоплению Cs-137 в ягодах установлен убывающий ряд: черника > голубика > брусника > клюква.

По накоплению Sr-90 в ягодах выявлена иная закономерность. Земляника накапливает Sr-90 в 2 раза больше, чем черника и в 1,5 раза больше, чем малина. Коэффициент перехода Sr-90 в малину и землянику в 10 раз больше, чем коэффициент перехода Cs-137. Для черники коэффициент перехода Sr-90 в 5 раз меньше, чем Cs-137.

Сбор грибов в лесах с плотностью загрязнения Cs-137 более 2 Ки/км² (74 кБк/м²) запрещен. Сбор черники разрешен при плотности загрязнением Cs-137 1,25 Ки/км², земляники – 2 Ки/км².

Цель работы: определить содержание Cs-137 в различных видах грибов и в вегетативной части ягодников.

Материалы и оборудование: гамма-радиометр РКГ-01 "Алиот", образцы грибов и наземной массы ягодников (листья и стебли), весы лабораторные.

Выполнение работы. **1.** Выполнить последовательно п. 1–3 работы 12. Результаты измерений записать в отчет по работе (табл. 26).

Т а б л и ц а 26. Содержание Cs-137 и К-40 в грибах и ягодниках

Образец	Содержание ¹³⁷ Cs		Содержание ⁴⁰ K		Отношение ¹³⁷ Cs/ ⁴⁰ K
	Бк/кг	Ки/кг	Бк/кг	Бк/кг	
Грибы:					
опенок осенний					
подберезовик					
белый гриб					
подосиновик					
рядовка серая					
лисичка					
груздь черный					
сыроежки					
польский гриб					
масленок					
Ягодники:					
черника					
голубика					
брусника					
клюква					
земляника					
малина					
костяника					
ежевика					

2. Рассчитать отношение Cs-137 к К-40

3. По результатам анализа проб сделать выводы и записать в отчет по работе.

Сравнить содержание Cs-137 в грибах с РДУ-99.