

УДК 551.521

**О. О. ОРЛОВ \***

**ВПЛИВ ПОРОДНОГО СКЛАДУ ДЕРЕВОСТАНУ НА ВЕРТИКАЛЬНИЙ ПЕРЕРЕЗПОДІЛ  $^{137}\text{Cs}$  У СІРИХ ЛІСОВИХ ҐРУНТАХ СВІЖИХ ГРУДІВ ПОДІЛЛЯ**

*Поліський філіал УкрНДЛГА ім. Г. М. Висоцького*

Проаналізовані закономірності вертикального перерозподілу  $^{137}\text{Cs}$  у горизонтах сірих лісових ґрунтів свіжих грудів Поділля. Доведено більшу інтенсивність цього процесу в дубових лісах порівняно з грабовими. Розраховані параметри заглиблення  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті згідно з квазидифузійною 2-компонентною моделлю, а також тривалість ефективного екологічного періоду напівочищення ґрунту від зазначеного радіонукліда. Ключові слова: сірий лісовий ґрунт,  $^{137}\text{Cs}$ , вертикальна міграція, квазидифузія, період напівочищення ґрунту

Розподіл і міграція радіонуклідів у вертикальному профілі лісових ґрунтів визначається складним комплексом взаємозалежних факторів. Саме це обумовлює поліваріантність згаданих процесів у ґрунтах, у тому числі за рахунок впливу породного складу деревостану як едифікаторного ярусу лісових екосистем. Разом з тим, вплив складу деревостану на міграційну здатність  $^{137}\text{Cs}$  вивчено недостатньо.

Вплив породного складу деревостану на інтенсивність вертикальної міграції у ґрунті є дискусійним. У деяких публікаціях [1, 4, 5] наводяться вищі (у 1,5–4 рази) величини питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у горизонтах ґрунту, глибших 5 см, у листяних насадженнях порівняно із хвойними. Протилежні результати отримані іншими дослідниками [3], за даними котрих вищі активності  $^{137}\text{Cs}$  у глибоких ґрунтових горизонтах визначають у соснових насадженнях порівняно з листяними в однакових лісорослинних умовах. Даних стосовно впливу складу деревостану на перерозподіл  $^{137}\text{Cs}$  у сірих лісових ґрунтах грудів нами у доступних джерелах не виявлено.

Дослідження проведені у 2004 р. у Шпиківському лісництві ДП "Тулчинське ЛГ" Вінницької області у 45-річних насадженнях грабових дібров, складом 8Д2Г і 8Г2Д, у свіжих грудях (D<sub>2</sub>), типових для Поділля. У досліджених насадженнях викопували ґрунтовий профіль і визначали тип ґрунту, у всіх випадках діагностований сірий лісовий суглинковий ґрунт. Ґрунтові зразки відбирали з профілю з площі 500 см<sup>2</sup> (25 x 20 см) за допомогою спеціального шаблону, при цьому лісову підстилку відбирали за фракціями залежно від ступеня розкладання, а мінеральні горизонти – 2-см шарами до глибини 30 см. Зразки висушували при температурі 80 °С протягом 72 годин і гомогенізували. Питому активність  $^{137}\text{Cs}$  у зразках визначали на багатоканальному спектроаналізаторі імпульсів СЕГ-005-АКП із сцинтиляційним детектором (NaI) БДЭГ-20P2 (100x150 мм). Похибка вимірювання питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у зразках коливалася у межах 15–20 %. Для аналізу вертикальної міграції  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті було використано загально визнану двохкомпонентну квазидифузійну модель, розроблену І. Є. Константіновим із співавторами [2], яку використано для аналогічних досліджень іншими авторами [4]. Статистичну обробку отриманих результатів проведено за допомогою стандартних пакетів Excel і "Statistica 6.0".

Аналіз вертикального розподілу активності  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунтах досліджених насаджень (табл. 1) дає змогу зробити висновки.

Так, помітно, що у сірих лісових ґрунтах грабових дібров різного породного складу запас  $^{137}\text{Cs}$  у верхніх горизонтах ґрунту (4-см шарі) є цілком зів'язаним, спільним також є загальний характер його вертикального розподілу – експоненційний. При цьому відносна частка активності  $^{137}\text{Cs}$  у приповерхневих горизонтах ґрунту насаджень складом 8Г2Д була дещо вищою порівняно з насадженням складом 8Д2Г. Однак, у міру заглиблення картина змінюється на протилежну – більша відносна частка активності  $^{137}\text{Cs}$  є характерною для насаджень з переважанням дуба, що особливо чітко помітно глибше 10 см. Таким чином,

\* © О. О. Орлов, 2008

при розгляданні поточного вертикального розподілу радіонукліда у ґрунті, як результату усієї сукупності процесів міграції з моменту радіоактивних випадінь (1986 р.), інтенсивність яких визначається ландшафтно-геохімічними умовами насаджень різного породного складу, можна говорити про інтенсивнішу вертикальну міграцію радіонукліда у насадженнях із переважанням дуба порівняно з насадженнями з переважанням граба.

Таблиця 1

**Вертикальний розподіл  $^{137}\text{Cs}$  у сірому лісовому ґрунті грабових дібров різного породного складу, % від загальної активності у 30-см шарі мінерального ґрунту**

Глибина, см	8Д2Г			8Г2Д		
	Am $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	As $^{137}\text{Cs}$ , Бк/500 см <sup>2</sup>	As $^{137}\text{Cs}$ , %	Am $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	As $^{137}\text{Cs}$ , Бк/500 см <sup>2</sup>	As $^{137}\text{Cs}$ , %
0 – 2	4980	3904	58,00	7867	7080	61,07
2 – 4	1140	935	13,89	2350	2258	19,48
4 – 6	765	581	8,64	920	839	7,24
6 – 8	722	455	6,76	533	524	4,52
8 – 10	441	467	3,25	308	302	2,60
10 – 12	179	172	2,55	120	120	1,03
12 – 14	89	83	1,23	69	76	0,65
14 – 16	78	73	1,09	58	64	0,56
16 – 18	55	53	0,79	54	60	0,52
18 – 20	49	48	0,71	47	57	0,49
20 – 22	48	48	0,71	42	51	0,44
22 – 24	41	45	0,67	39	48	0,41
24 – 26	37	41	0,60	34	42	0,36
26 – 28	31	38	0,56	28	36	0,31
28 – 30	30	37	0,54	27	36	0,31

*Примітка:* Am – питома активність радіонукліда; As – сумарна активність радіонукліда

До аналогічних висновків стосовно інтенсивності міграції  $^{137}\text{Cs}$  у досліджуваних насадженнях різного породного складу можливо дійти шляхом математичного аналізу параметрів міграції радіонукліда, описаних двохкомпонентним квазидифузійним рівнянням (табл. 2).

Таблиця 2

**Розрахункові параметри квазидифузії  $^{137}\text{Cs}$  у сірих лісових ґрунтах**

Склад дерево-стану	Параметри рівняння				Внесок компонент міграції, %		Кореляційне відношення	Відносна похибка прогнозування, %
	Af, см <sup>-1</sup>	Mf, см <sup>2</sup> /с	As, см <sup>-1</sup>	Ms, см <sup>2</sup> /с	швидкої	повільної		
8Г2Д	0,19	$3,54 \cdot 10^{-7}$	1,86	$6,85 \cdot 10^{-9}$	9,27	90,73	0,95	18,2
8Д2Г	0,30	$5,09 \cdot 10^{-7}$	1,88	$1,10 \cdot 10^{-8}$	13,76	86,24	0,88	26,8

*Примітка:* Af – розрахункова частка швидкої компоненти квазидифузії; As – розрахункова частка повільної компоненти квазидифузії; Mf – коефіцієнт швидкої компоненти квазидифузії; Ms – коефіцієнт повільної компоненти квазидифузії.

Результати розрахунків, наведених у табл. 2, дають змогу стверджувати, що внесок "повільних" процесів міграції  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті домінує в обох насадженнях, при цьому в насадженні складом 8Г2Д їх внесок є дещо більшим – 90,73 %, ніж у ґрунті насаджень складом 8Д2Г – 86,24 %. Отримані дані однозначно свідчать про переважно дифузійні процеси перенесення  $^{137}\text{Cs}$  у досліджених сірих лісових ґрунтах. "Швидкі" процеси (ймовірно, конвективні переміщення радіонукліда з потоком вологи) вносять істотно менший вклад у міграцію  $^{137}\text{Cs}$  в обох насадженнях. Коефіцієнт "повільної" квазидифузії є меншим у насадженнях із переважанням граба ( $6,85 \cdot 10^{-9}$  см<sup>2</sup>/с) порівняно з насадженнями з домінуванням дуба ( $1,10 \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup>/с). Натомість, варіювання "швидкої" компоненти коефіцієнта квазидифузії в обох насадженнях є одного порядку ( $3,54 - 5,09 \cdot 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/с), що є близьким до результатів, отриманих іншими дослідниками [4]. Оскільки величини обох компонент коефіцієнта квазидифузії є більшими у насадженнях із переважанням дуба,

отримані дані дають змогу підтвердити зроблений вище висновок про інтенсивнішу вертикальну міграцію  $^{137}\text{Cs}$  саме у дубових насадженнях порівняно з грабовими. На нашу думку, це явище обумовлене комплексом факторів – різною глибиною кореневої діяльності граба і дуба, якісним і кількісним складом опаду згаданих порід і швидкістю його розкладання, більшою участю трав'яних видів у дубових лісах. Аналіз фактичних і прогнозних розподілів  $^{137}\text{Cs}$  у вертикальному профілі ґрунтів досліджених насаджень свідчить про поступове зменшення активності радіонукліда у верхніх ґрунтових шарах і збільшення – у нижніх. Математичний аналіз цього процесу дає змогу оцінити швидкість самоочищення коренезаселеного шару ґрунту від радіонукліда, що прямо впливає на його вміст у продукції лісового господарства. Розрахунки свідчать, що найбільш інтенсивне самоочищення від  $^{137}\text{Cs}$  прогнозується у насадженнях із переважанням дуба (табл. 3), де відбувається відносно більший відтік радіонукліда порівняно із грабовими насадженнями, особливо з шарів ґрунту 0 – 5 і 0 – 10 см.

Таблиця 3

**Прогноз вертикального перерозподілу активності  $^{137}\text{Cs}$  у сірому лісовому ґрунті свіжих гродів у насадженнях різного породного складу, % від загальної активності**

Проміжок часу	Потужність шару мінерального ґрунту					
	0 – 5 см	0 – 10 см	0 – 20 см	0 – 30 см	20 – 50 см	50 – 100 см
<i>8Г2Д</i>						
Поточний момент	83,27	94,06	96,81	98,56	3,02	0,17
Через 15 років	73,13	92,48	95,61	97,38	3,71	0,68
Через 30 років	65,58	90,12	94,93	96,60	3,89	1,22
Через 45 років	59,88	87,49	94,51	96,08	3,82	1,65
Через 60 років	55,43	84,67	94,20	95,73	3,76	2,03
<i>8Д2Г</i>						
Поточний момент	71,99	89,89	94,09	96,75	5,25	0,67
Через 15 років	60,54	85,95	92,45	94,94	5,72	1,83
Через 30 років	53,14	81,49	91,60	93,92	5,65	2,75
Через 45 років	47,95	77,27	91,01	93,33	5,60	3,33
Через 60 років	44,07	73,50	90,45	92,99	5,73	3,82

Примітка: глибше 30-см шару дані екстрапольовані.

Так, у насадженні складом 8Д2Г у шарі ґрунту 0 – 5 см нині частка активності  $^{137}\text{Cs}$  сягає 71,99 %, через 30 років прогнозується 53,14 %, а через 60 років – 44,07 %; відповідні показники у насадженні складом 8Г2Д становили: 83,27 %, 65,58 % і 55,43 %. Аналізуючи динаміку перерозподілу радіонуклідів у більшій товщі ґрунту – 0 – 20 і 0 – 30 см, чітко видно, що за 30 і 60 років в обох насадженнях відносна частка активності радіонукліда за рахунок вертикальної міграції у глибші шари зменшиться лише на 2 – 3 %. Відповідно, зросте відносна частка активності  $^{137}\text{Cs}$  у шарі 50 – 100 см – у насадженні складом 8Г2Д з 0,17 % нині до 2,03 % через 60 років, а у насадженні складом 8Д2Г – з 0,67 % до 3,82 %. Наведені дані дають змогу зробити загальний висновок, що через період напіврозпаду (30 років) і 2 періоди напіврозпаду  $^{137}\text{Cs}$  (60 років) основна частка активності радіонукліда, як і нині, буде знаходитися у 20-см найбільш щільно коренезаселеному шарі ґрунту згаданих насаджень, обумовлюючи радіоактивність усіх компонентів біоти, дуже повільно (експоненційно) зменшуючись із часом.

Практичне значення має розрахунок тривалості періоду напівочищення ґрунтових горизонтів від  $^{137}\text{Cs}$ , а також оцінка внеску вертикальної міграції та фізичного самочинного розпаду радіонукліда у ґрунті у цей процес (табл. 4).

З даних табл. 4 випливає висновок, що без урахування розпаду  $^{137}\text{Cs}$  період напівочищення ґрунту в обох розглянутих насадженнях є більшим за період напіврозпаду згаданого радіонукліда. При цьому закономірно, що зі збільшенням потужності шару ґрунту ця величина експоненційно зростає – у насадженні складом 8Г2Д з 74,4 року у шарі ґрунту 0 – 5 см до  $2,77 \cdot 10^8$  років у шарі 0-30 см; відповідні показники для насадження складом 8Д2Г сягали 42,2 року та  $3,87 \cdot 10^{11}$  років. З урахуванням радіоактивного розпаду  $^{137}\text{Cs}$  нами було

розраховано ефективний екологічний період напівочищення ґрунту від цього радіонукліда. Виявлено, що найбільш швидко очищається шар ґрунту 0 – 5 см: у дубовому насадженні – за 17,6 року, у грабовому – 21,5 року. Натомість, у шарах ґрунту 0 – 10, 0 – 20 і 0 – 30 см тривалість згаданого періоду в обох проаналізованих насадженнях була близькою й коливалася в межах 28,6 – 30,2 року, що є дуже близьким до періоду напіврозпаду <sup>137</sup>Cs (30,17 року).

Таблиця 4

**Параметри напівочищення шарів сірих лісових ґрунтів у свіжих грудах**

Склад деревостану	Параметри напівочищення ґрунту	0 – 5 см	0 – 10 см	0 – 20 см	0 – 30 см
8Г2Д	Період напівочищення без урахування розпаду <sup>137</sup> Cs, років	74,4	1533	651379	2,77·10 <sup>8</sup>
	Ефективний екологічний період напівочищення, років	21,5	29,6	30,2	30,2
	Внесок вертикальної міграції, %	28,9	1,9	0,004	0,000
8Д2Г	Період напівочищення без урахування розпаду <sup>137</sup> Cs, років	42,2	540	88400	3,87·10 <sup>11</sup>
	Ефективний екологічний період напівочищення, років	17,6	28,6	30,2	30,2
	Внесок вертикальної міграції, %	41,7	5,3	0,03	0,000

Отримані дані також свідчать, що внесок вертикальної міграції <sup>137</sup>Cs у самоочищення ґрунту є відчутним лише у шарі ґрунту 0 – 5 см (28,9 – 41,7 %), різко зменшується у шарі 0 – 10 см до 1,9 – 5,3 % та наближаючись до нуля у решти горизонтах. З цього правомірно зробити загальний висновок, що основним механізмом самоочищення від <sup>137</sup>Cs найбільш щільно коренезаселеного шару сірого лісового ґрунту (0 – 20 см) є фізичний розпад радіонукліда, а внесок вертикальної міграції у цей процес у цьому шарі є дуже незначним.

**Висновки.** Внесок повільних процесів, близьких за природою до дифузії, у міграцію <sup>137</sup>Cs у ґрунті обох насаджень є визначальним. Інтенсивніше вертикальна міграція <sup>137</sup>Cs відбувається у ґрунті дубових насаджень порівняно із грабовими. Через 30 і 60 років основна частка активності радіонукліда залишиться у 20-см коренезаселеному шарі ґрунту обох насаджень. Основним механізмом самоочищення коренезаселеного шару ґрунту від <sup>137</sup>Cs є фізичний розпад радіонукліда.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дем'яненко С. А., Матухно Ю. Д., Михайличенко А. И. и др. Миграция и биологическое поглощение радиоцезия в лесных насаждениях // Чернобыль-94. Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС: Сб. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. – Т. 1. – Чернобыль, 1996. – С. 478 – 492.
2. Константинов И. Е., Скотникова С. Г., Солдаева Л. С. и др. Прогнозирование миграции цезия-137 в почвах // Почвоведение. – 1974. – № 5. – С. 54 – 58.
3. Краснов В. П., Орлов А. А. Радиоэкология ягодных растений. – Житомир: Волянь, 2004. – 264 с.
4. Переволоцкий А. Н. Распределение <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в лесных биогеоценозах. – Гомель: РНИУП "Институт радиологии", 2006. – 255 с.
5. Пушкарев А. В., Приймаченко В. М., Александрова Н. В. Обобщенная оценка распределения <sup>137</sup>Cs в почвенном горизонте типовых ландшафтов Украинского Полесья // Чернобыль-94. Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС: Сб. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. – Т. 1. – Чернобыль, 1996. – С. 279 – 285.

Orlov O. O.

AN INFLUENCE OF TREE STAND COMPOSITION ON VERTICAL <sup>137</sup>CS REDISTRIBUTION IN GREY FOREST SOILS OF FRESH GRUDS OF PODILLYA

*Polisky Branch of UkrRIFFM named after G. M. Vysotsky*

Regularities of <sup>137</sup>Cs redistribution in horizons of grey forest soils of fresh gruds of Podillya were analyzed. Greater intensity of this process was shown in oak forest in comparison with hornbeam ones. Parameters of <sup>137</sup>Cs deepening in soil according with to 2-component model were calculated as well as duration of effective ecological period of soil half-cleaning from this radionuclide.

**К e y w o r d s :** grey forest soil, <sup>137</sup>Cs, vertical migration, quasidiffusion, period of soil half-cleaning.

Орлов А. А.

ВЛИЯНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА ДРЕВОСТОЯ НА ВЕРТИКАЛЬНОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ  $^{137}\text{Cs}$  В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ СВЕЖИХ ГРУДОВ ПОДОЛЬЯ

*Полесский филиал УкрНИИЛХА им. Г. Н. Высоцкого*

Дан анализ вертикального перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  в горизонтах серых лесных почв свежих грудов Подолья. Установлена более высокая интенсивность этих процессов в дубовых лесах по сравнению с грабовыми. Установлены параметры углубления  $^{137}\text{Cs}$  в почве в соответствии с квазидиффузионной 2-компонентной моделью, а также продолжительность эффективного экологического периода получищения почвы от данного радионуклида.

Ключевые слова: серая лесная почва,  $^{137}\text{Cs}$ , вертикальная миграция, квазидиффузия, период получищения почвы.

*Одержано редколегією 2.09.2008 р.*