

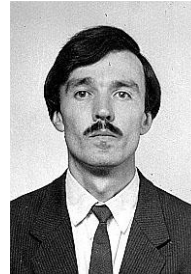
УДК 630\*182.47/48:504.054:559.16.04

### **З.Н. Маркина, И.Н. Глазун**

Маркина Зоя Николаевна родилась в 1946 г., окончила в 1970 г. Всесоюзный сельскохозяйственный институт заочного образования, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и почвоведения Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет 56 печатных работ по вопросам радиологического состояния почв и их реабилитации, мониторинга сельскохозяйственных и лесных земель.



Глазун Игорь Николаевич родился в 1963 г., окончил в 1986 г. Брянский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры дендрологии, селекции и озеленения Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет свыше 50 научных трудов в области лесной радиэкологии.



## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ ПО ПРОФИЛЮ ПОЧВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС НА ТЕРРИТОРИИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Рассмотрены общие закономерности миграции  $^{137}\text{Cs}$  в различных типах леса и лесорастительных условий. Показано, что неравномерность распределения радионуклидов в почвах ландшафтов требует дифференцированного подхода к их использованию.

*Ключевые слова:* Чернобыльская АЭС, лесные экосистемы, почвы, миграция  $^{137}\text{Cs}$ .

Поведение радионуклидов в окружающей среде характеризуется распределением их между жидкой и твердой фазами почвы, прочностью связей с поглощающим комплексом. Интенсивность вертикальной миграции зависит от механических и физико-химических свойств почвы, а также химической природы радионуклидов. Одним из основных факторов загрязнения, определяющих подвижность радионуклидов в почвах, являются физико-химические свойства последних [1, 3–5].

Для изучения миграции  $^{137}\text{Cs}$  и распределения основных показателей почв, характеризующих ее плодородие, по профилю в лесных биоценозах в различных типологических условиях произрастания были заложены ключевые участки в соответствии с общепринятыми методиками исследования лесных биогеоценозов и рекомендациями по ведению радиационного мониторинга в зоне отчуждения на территории Брянской области [6, 7].

Территория района исследований представляет собой слабоволнистую равнину с пологими склонами, в западной части которой на повышенных элементах рельефа формировались дерново-подзолистые почвы разной

степени оподзоленности, оглеенности и механического состава. Они занимают около 63 % территории, бедны минеральными питательными элементами, органическим веществом, имеют сильноокислую и кислую реакцию почвенной среды, незначительную емкость поглощения. Содержание физической глины в песчаных почвах не превышает 5, в супесчаных – 10 ... 20, в легкосуглинистых – 20...30 %. В небольшом количестве встречаются болотно-перегнойные почвы.

Исследования проводили на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах, имеющих крайне неблагоприятные водные свойства: высокую водопроницаемость и малую водоудерживающую способность. Водный режим таких почв зависит от количества и частоты выпадения осадков, толщины снежного покрова, температуры воздуха, механического состава подстилающей породы, уровня залегания грунтовых вод. Физические свойства легкосуглинистых почв более благоприятны, но и для них характерна невысокая влагоемкость, повышенная водопроницаемость и небольшая водоподъемная способность. Эти свойства почв являются решающими в распределении техногенных загрязнителей по почвенному профилю. На каждой пробной площади были отобраны пробы почвы на глубину 100 см по-слойно для определения запаса основных физико-химических показателей и  $^{137}\text{Cs}$ , их миграционных особенностей, а также пробы почвы для определения плотности загрязнения биогеоценоза.

Исследования проводили в типах леса: дубрава разнотравная на дерново-карбонатной почве, сформировавшейся на карбонатной песчаной морене, подстилаемой меловым рухляком (ПП 1); ельник-кисличник на дерново-среднеподзолистой супесчаной глееватой почве на флювиогляциальных отложениях (ПП 2), на дерново-среднеподзолистой супесчаной слабоглееватой почве на флювиогляциальных отложениях (ПП 3), на дерново-среднеподзолистой песчаной почве на флювиогляциальных отложениях с прослойками морены, подстилаемой мореной (ВПП 33); сосняк бруснично-черничный на дерново-сильноподзолистой песчаной глееватой почве на флювиогляциальных песках с прослойками морены (ПП 4), на торфянисто-подзолистой глеевой песчаной почве на водно-ледниковых отложениях (ПП 5), на дерново-слабоподзолистой песчаной почве на водно-ледниковых отложениях (ПП 6, 7); сосняк-брусничник на дерново-слабоподзолистой песчаной почве на водно-ледниковых отложениях (ВПП 31) и на флювиогляциальных песках (ВПП 32). Характеристика пробных площадей представлена в табл. 1.

Выпадение радиоактивных веществ на территории области было пятнистым, мозаичным и неравномерным, что привело к неодинаковому распределению радионуклидов в различных биогеоценозах. Почва как подсистема в любой экосистеме является приемником и аккумулятором всех техногенных загрязнителей, в том числе радиоактивных.

Исследованиями выявлено, что неоднородность и неравномерность радиоактивных выпадений определила значительную вариабельность величин концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в почвах. Его содержание на пробных площадях

Таблица 1

Пробная площадь и разрез	Тип леса	Состав	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Тип условий произрастания
ПП 1	Д. ртр	4Д2Кл2Л2Ос+В	20,3	18,0	D <sub>3</sub>
ПП 2	Е. кисл	5Е3Ос1С1Д+Б+Кл	26,6	21,7	С <sub>3</sub>
ПП 3	«	7Е2Б1С+Ос	22,7	21,8	«
ПП 4	С. брч	10С	25,5	21,5	В <sub>3</sub>
ПП 5	«	10С+Б	24,6	22,5	А <sub>3</sub>
ПП 6	«	«	27,7	25,0	А <sub>2-3</sub>
ПП 7	«	10С	24,6	22,5	В <sub>2</sub>
ВПП 31	С. бр	«	18,2	28,7	А <sub>2</sub> -В <sub>2</sub>
ВПП 32	«	10С+Б	20,8	22,3	«
ВПП 33	Е. кисл	6Е4С	22,7	21,8	С <sub>2</sub>

Таблица 2

Пробная площадь и разрез	Распределение <sup>137</sup> Cs, % от запаса в метровом слое, по глубине взятия образца, см							
	Подстилка	0...5,0	5,1...10,0	10,1...15,0	15,1...20,0	20,1...30,0	30,1...40,0	40,1...50,0
ПП 1	12,3	63,1	9,5	7,4	3,7	3,0	0,3	0,3
ПП 2	72,8	21,6	3,1	1,5	0,4	0,1	0,1	0,1
ПП 3	41,3	54,7	2,2	0,7	0,4	0,1	0,1	0,1
ПП 4	57,5	32,5	5,3	3,3	0,7	0,2	0,1	0,2
ПП 5	93,3	3,4	1,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,1
ПП 6	43,8	48,3	5,2	1,2	0,5	0,6	0,1	0,1
ПП 7	72,4	23,1	2,3	0,5	0,3	0,4	0,2	0,1
ВПП 31	24,2	57,0	8,9	4,5	2,5	1,7	0,5	0,2
ВПП 32	52,8	35,4	3,1	0,7	0,6	1,5	0,9	1,0
ВПП 33	72,0	20,2	4,8	1,3	0,4	0,5	0,4	0,1

колеблется в довольно широких пределах: от 2444 до 4066 кБк/м<sup>2</sup>. Распределение радионуклида в почвах под различными типами леса, расположенными на одном сопряженном ландшафте (катена) снижается с уменьшением экспозиции участка по склону до поймы (на вершине склона 4066, на середине 2065, в нижней части 1336, в пойме 1813 кБк/м<sup>2</sup>). Плотность загрязнения <sup>137</sup>Cs достоверно уменьшается в направлении с верха катены вниз, от сосняка бруснично-черничного к ельнику-кисличнику и возрастает внизу катены в дубраве разнотравной, произрастающей в пойменном ландшафте, в соотношении 1,0:0,5:0,3:0,4. Лесная подстилка независимо от типа леса служит экологическим барьером на пути миграции радионуклидов с поверхностным стоком [2].

Распределение <sup>137</sup>Cs по профилю почв в различных типах леса неодинаково, но имеет общую закономерность: максимальное содержание в органических горизонтах и незначительное его перераспределение в нижних – минеральных (табл. 2).

Из таблицы следует, что в ельнике-кисличнике (ПП 2, 3, ВПП 33) независимо от типа лесорастительных условий основное количество радионуклида сосредоточено в лесной подстилке и гумусовом горизонте (94,4; 96,0 и 92,2 % соответственно). Необходимо отметить влияние степени увлажнения на увеличение подвижности  $^{137}\text{Cs}$  из лесной подстилки в гумусовый горизонт на ПП 2 и 3. В данном типе леса максимум загрязнения наблюдается до глубины 15 см, ниже по почвенному профилю промигрировало практически одинаковое количество радионуклида (ПП 2 – 1,0, ПП 3 – 1,1, ВПП 33 – 1,7 %). Различия запасов  $^{137}\text{Cs}$  в подстилке в типах лесорастительных условий  $C_2$  и  $C_3$  составили 1,74 и 1,76 раза, в гумусовом горизонте 2,53 и 2,71 раза, в элювиальном 1,85 и 3,21 раза и обусловлены наличием сорбционных и глеевых ландшафтно-геохимических барьеров различной проницаемости.

В сосняке бруснично-черничном (ПП 4–7) распределение  $^{137}\text{Cs}$  по почвенному профилю неоднозначно (табл. 2). На ПП 4 основное количество радионуклида содержится в подстилке и гумусовом горизонте (57,5 и 32,5 % соответственно), на ПП 5 в лесной подстилке (93,3 %). Такое перераспределение связано с различной степенью гидроморфизма и развития глеевого процесса. Независимо от факторов, влияющих на миграцию радионуклида, максимум его запасов находится в 15-сантиметровом слое. Мигрирование его ниже глубины 20 см незначительно, хотя на ПП 5 наблюдается распределение  $^{137}\text{Cs}$  в слое 0 ... 40 см.

Для дерново-подзолистых песчаных почв на водно-ледниковых отложениях (ПП 6, 7) перераспределение радионуклида между слоями и горизонтами также неодинаковое (табл. 2), что связано, по всей видимости, с наличием березы в составе древостоя (ПП 6). Ее опад, содержащий основные элементы, подвергается лучшей минерализации, что способствует образованию более подвижных органо-минеральных комплексов и созданию условий, ускоряющих передвижение радионуклида в гумусовый горизонт. На ПП 6 запасы  $^{137}\text{Cs}$  в лесной подстилке составляют 43,8, в гумусовом горизонте 48,3 %, на ПП 7 соответственно 72,4 и 23,1 %. Основное количество радионуклида распределилось в лесной подстилке и слое 0 ... 15 см минеральной толщи (на ПП 6 – 98,5, на ПП 7 – 98,3 %), незначительное его количество промигрировало по почвенному профилю.

В сосняке-брусничнике (ВПП 31, 32), произрастающем на антропогенно измененных почвах (дерново-слабоподзолистая песчаная на водно-ледниковых отложениях и на флювиогляциальных песках), основное количество радионуклида локализовалось в подстилке и гумусовом горизонте (97,3 и 92,0 %). В почве ВПП 31 максимум загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  приходится на гумусовый горизонт – 72,9 % (слой 0 ... 20 см), на подстилку же – 24,4 %, миграция его наблюдается до глубины 0 ... 40 см.

В почве ВПП 32 в подстилке содержится 52,8 % от запаса  $^{137}\text{Cs}$  в метровом слое, в гумусовом горизонте 39,2 % (слой 0 ... 15 см), миграция его четко прослеживается по почвенному профилю до глубины 100 см. Ко-

личество  $^{137}\text{Cs}$ , промигрировавшего по почвенному профилю ниже гумусового горизонта, на ВПП 32 составило 8,7 % против 2,7 % на ВПП 31.

В лесной подстилке дубравы разнотравной ( $D_3$ ) на дерново-карбонатной почве, сформировавшейся на песчаной карбонатной морене, подстилаемой меловым рудняком, содержание  $^{137}\text{Cs}$  составило 12,3 %. Основная его масса (63,1 %) сосредоточена в гумусовом горизонте (слой 0 ... 5 см), значительное количество (23,6 %) промигрировало в переходный горизонт ( $B_1$ ) до глубины 30 см. Практически весь запас радиоцезия сосредоточен в 30-сантиметровом слое почвы (99,1 %), глубже находится всего 0,9 %. Такое перераспределение связано с тем, что в условиях смешанного леса скорость биохимических процессов в подстилке значительно выше, чем в хвойных, а значит, и процессы трансформации органического вещества протекают быстрее. Их результатом является увеличение растворимости радионуклида в лесной подстилке и перемещение его в нижележащие горизонты.

Изучение миграции радионуклида по профилю почв в различных типах леса показало очень четкое распределение  $^{137}\text{Cs}$  по почвенным горизонтам и слоям, причем передвижение радионуклида вниз по почвенному профилю в ельнике-кисличнике выше, чем в сосняке бруснично-черничном и черничном, и составляет 0,7; 6,1; 1,1 и 0,7; 0,4; 1,0 % соответственно.

В результате проведенных исследований установлено, что:

– независимо от типа леса, лесорастительных условий и ландшафтов основное количество  $^{137}\text{Cs}$  сосредоточено в лесной подстилке и гумусовом горизонте;

– характер распределения  $^{137}\text{Cs}$  по почвенному профилю сопряженных ландшафтов неодинаков и зависит от типа почв и почвообразующих пород;

– для дерново-подзолистых почв легкого механического состава и разной степени оподзоленности миграция радионуклида определяется наличием геохимических барьеров (сорбционные, глеевые) и гидродинамическими условиями (плотность поверхностного слоя почвы, фильтрационная его способность и т. д.);

– для дерново-подзолистых заболоченных и торфяно-болотных почв основным фактором миграции выступает наличие и интенсивность промывного водного режима;

– в ельнике-кисличнике с лесорастительными условиями  $C_2$ ,  $C_3$  различия запасов  $^{137}\text{Cs}$  в подстилке составили 1,74 и 1,76 раза, в гумусовом горизонте 2,53 и 2,71 раза, в элювиальном 1,85 и 3,21 раза. Они обусловлены наличием сорбционных и глеевых ландшафтно-геохимических барьеров различной проницаемости;

– в сосняке бруснично-черничном с лесорастительными условиями  $A_3$ ,  $A_{2-3}$ ,  $B_3$ ,  $B_2$  миграция  $^{137}\text{Cs}$  определяется, наряду с геохимическими барьерами, наличием в почвообразующей породе прослоек более тяжелого механического состава (моренных отложений);

- в сосняке-брусничнике с лесорастительными условиями  $A_2-B_2$  на антропогенно измененных почвах значительную роль в распределении  $^{137}\text{Cs}$  по почвенному профилю играют почвообразующие породы;
- в дубраве разнотравной с лесорастительными условиями  $D_3$  миграция  $^{137}\text{Cs}$  связана с процессами трансформации органического вещества и образованием подвижных органо-минеральных соединений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексахин, Р.М.* Сельскохозяйственная радиоэкология [Текст] / Р.М. Алексахин, А.В. Васильев, В.Г. Дикарев [и др.]; под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. – М.: Экология, 1992. – 400 с.
2. *Булко, Н.И.* Миграция и накопление  $^{137}\text{Cs}$  в сосновых типах леса на сопряженных участках ландшафта [Текст] / Н.И. Булко, Н.В. Митин // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Гомель, 1998. – Вып. 49. – С. 136–148.
3. *Марадудин, И.И.* Основы прикладной радиоэкологии леса [Текст]: учеб. пособие / И.И. Марадудин, А.В. Панфилов, В.А. Шубин. – М.: ВНИИЛМ, 2001. – 224 с.
4. *Маркина, З.Н.* Распределение радиоактивных веществ в дерново-подзолистых почвах области [Текст] / З.Н. Маркина. – Информ. листок 68-91. – Брянск: ЦНТИ, 1991. – С. 4.
5. *Маркина, З.Н.* Распределение и перераспределение  $^{137}\text{Cs}$  в почвах радиоактивно загрязненных ландшафтов [Текст] / З.Н. Маркина // Материалы регион. науч.-техн. конф. «Вклад ученых и специалистов в национальную экономику», г. Брянск, 16–18 мая 2001г. – Брянск: БГИТА, 2001. – Т. 2. – С. 15–23.
6. Руководство по ведению лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения от аварии на Чернобыльской АЭС (на период 1997-2000 гг.) [Текст]. – М.: Рослесхоз, 1997. – 112 с.
7. Руководство по радиационному обследованию лесного фонда (на период 1996-2000 гг.) [Текст] / И.И. Марадудин, А.В. Панфилов, Т.В. Русина [и др.]. – М.: Рослесхоз, 1995. – 34 с.

*Z.N. Markina, I.N. Glazun*

**Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  according to Soil Profile in Forest Ecosystems of Alienation Zone in Chernobyl Nuclear Power Plant on the Bryansk Region Territory**

General laws of  $^{137}\text{Cs}$  migration in different forest and site conditions are considered; it is shown that non-uniform distribution of radioactive nuclides in landscape soils requires differentiated approach to their use.