

ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПОЛИГОНАХ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ

**М. Д. Бондарьков, М. В. Желтоножская, С. П. Гащак, Ю. А. Иванов, А. М. Максименко,
В. И. Мартыненко, Б. Роджерс, Р. К. Чессер, Д. М. Бондарьков**

Международная радиоэкологическая лаборатория Чернобыльского центра по проблемам ядерной безопасности, радиоактивным отходам и радиоэкологии, Славутич

Проведены измерения миграции радионуклидов цезия, стронция, плутония, америция и других в почвах двух исследовательских полигонов в зоне отчуждения ЧАЭС, характеризующихся контрастными ландшафтно-геохимическими условиями, физико-химическими формами выпадений и динамикой их трансформации. Представлены также оценки некоторых параметров перераспределения радионуклидов в профиле почв.

Введение

Включение радионуклидов выброса ЧАЭС в биогеохимические цепи миграции и динамика переноса по ним на территории ближних следов выпадений определяется рядом факторов, в том числе ярко выраженной пятнистостью пространственного распределения выпадений на территории [1], множественностью физико-химических форм радиоактивных выпадений и различной динамикой их трансформации в почве [2], сложным радионуклидным составом, представленным продуктами деления, нуклидами наведенной активности и актинидами [3]. В свою очередь гетерогенность почвенного покрова предопределяет существенно различную интенсивность перераспределения радионуклидов в профиле почв [4]. В работе представлены оценки некоторых параметров перераспределения радионуклидов в профиле почв двух исследовательских полигонов в зоне отчуждения ЧАЭС, характеризующихся контрастными ландшафтно-геохимическими условиями, физико-химическими формами выпадений и динамикой их трансформации в почвах.

радионуклидным составом, представленным продуктами деления, нуклидами наведенной активности и актинидами [3]. В свою очередь гетерогенность почвенного покрова предопределяет существенно различную интенсивность перераспределения радионуклидов в профиле почв [4]. В работе представлены оценки некоторых параметров перераспределения радионуклидов в профиле почв двух исследовательских полигонов в зоне отчуждения ЧАЭС, характеризующихся контрастными ландшафтно-геохимическими условиями, физико-химическими формами выпадений и динамикой их трансформации в почвах.

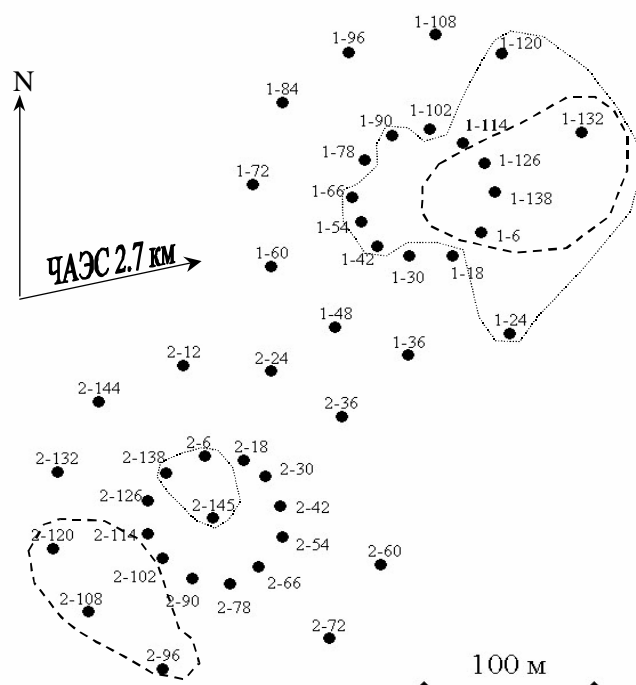


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб почвы на полигоне «Рыжий лес» (пунктиром выделены заболоченные и высокоувлажненные участки).

Объекты и методы исследований

Исследовательские полигоны «Рыжий лес» (рис. 1) и «Озеро Глубокое» (рис. 2) расположены на следах аварийных выбросов в 2,7 км на запад и в 7 км на север от 4-го блока ЧАЭС соответственно и характеризуются высокими уровнями радиоактивного загрязнения.

Полигон «Рыжий лес» расположен на территории надпойменной террасы правого берега р. Припять с неразвитым мезорельефом. До аварии территория была занята

сосновым лесом возрастом 35 - 40 лет. Почвенный покров представлен минеральными автоморфными почвами легкого механического состава, на отдельных участках – гидромор-

фными минеральными и органогенными почвами. Указанная территория подверглась максимальному радиоактивному загрязнению, мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения в первые месяцы после выброса составляла $n \cdot 10 \text{ Р} \cdot \text{ч}^{-1}$, в результате чего большая часть сосновых насаждений погибла.

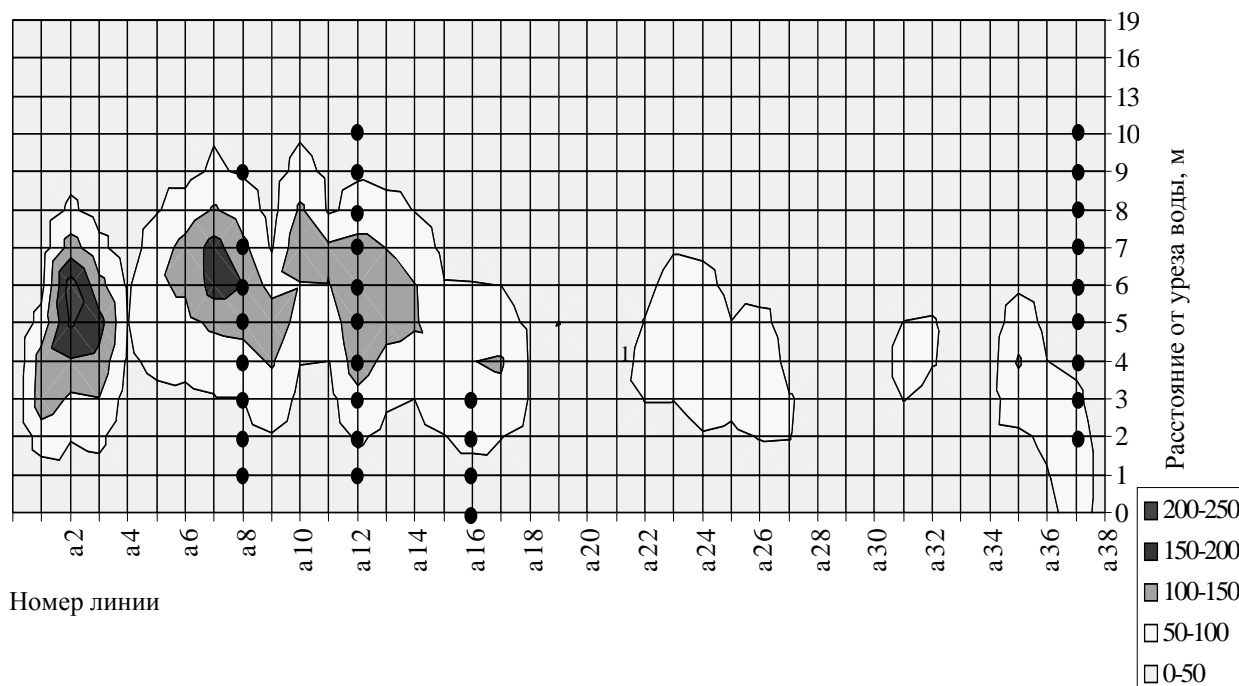


Рис. 2. Схема расположения точек отбора проб почвы на полигоне “Озеро Глубокое”. Радиационные поля представлены в $\text{мкР} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Пространственное распределение радиоактивных выпадений на территории экспериментального участка крайне неоднородно (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика плотности загрязнения территории полигона “Рыжий лес” и “Озеро Глубокое” некоторыми радионуклидами, $\text{МБк} \cdot \text{м}^{-2}$

Параметр		^{90}Sr	^{137}Cs	^{154}Eu	^{241}Am	$^{238,239,240}\text{Pu}$
Полигон “Рыжий лес”						
Участок 1	Среднее арифметическое	82,6	143,3	0,93	2,20	2,75
	Стандартное отклонение	62,5	111,4	0,81	1,92	4,83
Участок 2	Среднее арифметическое	67,6	166,0	1,08	2,46	2,37
	Стандартное отклонение	43,8	94,2	0,67	1,52	2,45
Полигон “Озеро Глубокое”						
Среднее арифметическое		0,17	1,8	0,007	0,026	
Стандартное отклонение		0,35	7,4	0,016	0,064	

Полигон “Озеро Глубокое” расположен на пойменных песчаных гривах на северо-западном берегу оз. Глубокое. Растительность представлена 30 - 40-летними посадками дуба черешчатого, на месте погибших молодых сосновых посадок - повсеместное лесовосстановление за счет пионерных группировок березы, осины и кустарниковых ив. На некоторых участках лесовосстановление почти отсутствует ввиду бедности почв и глубокого залегания грунтовых вод. Вдоль водоема и сырых понижений – разнообразная околоводная растительность. Почвы преимущественно легкие, песчаные, в понижениях – торфяные. Участок имеет относительно стабильный гидрологический режим. На песчаных гривах отмечено низкое увлажнение почвы и, как следствие, бедная травянистая растительность.

Как и на полигоне “Рыжий лес” пространственное распределение радиоактивных выпадений на территории экспериментального участка крайне неоднородно (см. табл. 1).

Пробы почвы для оценки вертикального распределения радионуклидов отбирали в 46 профилях на двух участках полигона “Рыжий лес” в 2001 г., на полигоне “Озеро Глубокое” - в 2002 г. в 30 профилях вдоль береговой полосы шириной 20 м (см. рис. 1). Содержание радионуклидов анализировали в горизонтах почвы 0 - 2, 2 - 4, 4 - 7, 7 - 10, 10 - 15, 15 - 20, 20 - 25 и 25 - 30 см.

Образцы почвы высушивались и гомогенизировались. Удельную активность радионуклидов в почвах определяли: ^{90}Sr – методом бета-спектрометрии [5], ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{241}Am – методом гамма-спектрометрии, для альфа-излучающих изотопов $^{238,239,240}\text{Pu}$ - методом L_x -спектроскопии [6] и радиохимическим методом.

Расчет параметров вертикального переноса радионуклидов в профиле почв проводили с использованием конвективно-диффузионной модели переноса [7].

Результаты и обсуждение

Анализ рассчитанных значений изотопных отношений $^{90}\text{Sr}/^{154}\text{Eu}$, $^{239,240}\text{Pu}/^{154}\text{Eu}$, $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu}$, $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$, $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ и их сравнение со значениями, полученными для выпадений топливной компоненты выброса в ближней части зоны отчуждения ЧАЭС [3], показал, что различные участки территории полигона характеризуются загрязнением либо топливной, либо суперпозицией топливной и конденсационной компонент выпадений.

Анализ вертикального распределению по профилю почв показал существенное влияние физико-химических форм выпадений, характеристик почвенного покрова, свойств радионуклидов как изотопов конкретных химических элементов, роющей деятельности животных и т.д. В зависимости от водного режима почв отмечены как экспоненциальные формы профилей распределения радионуклидов в почве, так и распределения с максимумом («гауссианы»).

На рис. 3 приведены примеры типичных профилей распределения ^{137}Cs в почвах полигона “Озеро Глубокое”.

Как видно из представленных на рисунках данных, наблюдается четкая дифференциация распределения радионуклидов в почвенных профилях в зависимости от того, в выпадениях какой физико-химической формы они попали в почву, изотопами каких химических элементов они являются, в каких почвенных условиях они мигрируют.

В почвенных профилях полигона “Рыжий лес” в верхних 5-сантиметровых горизонтах содержание ^{154}Eu от 80 до 100 % от суммарного содержания в профиле встречается в 74 % случаев, от 60 до 100 % - в 85 % случаев. Аналогичные оценки для других радионуклидов составляют: ^{241}Am - 69 и 86 % соответственно, изотопы плутония – 58 и 98 %, ^{137}Cs – 45 и 81 %. Существенно более низкие оценки – 34 и 68 % соответственно - отмечены для ^{90}Sr . Аналогичная закономерность наблюдается для почвенных профилей полигона “Озеро Глубокое”. В верхних 5-сантиметровых горизонтах содержание ^{154}Eu от 80 до 100 % от суммарного содержания в профиле встречается в 64 % случаев, от 60 до 100 % - в 94 %. Оценки для ^{241}Am составляют 69 и 91 % соответственно, ^{137}Cs – 36 и 81 %. Как и для полигона “Рыжий лес” минимальные оценки отмечены для ^{90}Sr – 37 и 70 % соответственно.

По состоянию на 2001 - 2002 гг. основная часть радионуклидов находится в верхних горизонтах почвы. На рис. 4 - 7 приведены частотные распределения доли радионуклидов от суммарного содержания в профиле, содержащейся в 5-сантиметровом горизонте почвы

В почвенных профилях обоих полигонов содержание ^{154}Eu в горизонтах ниже 5 - 10 см не превышает, как правило, сотых - десятых долей процента от суммарного содержания в профиле. В то же время содержание ^{90}Sr , составляющее единицы - первые десятки процента от суммарного содержания в профиле, наблюдается в более глубоких горизонтах почвы (до 15 - 20 см и глубже).

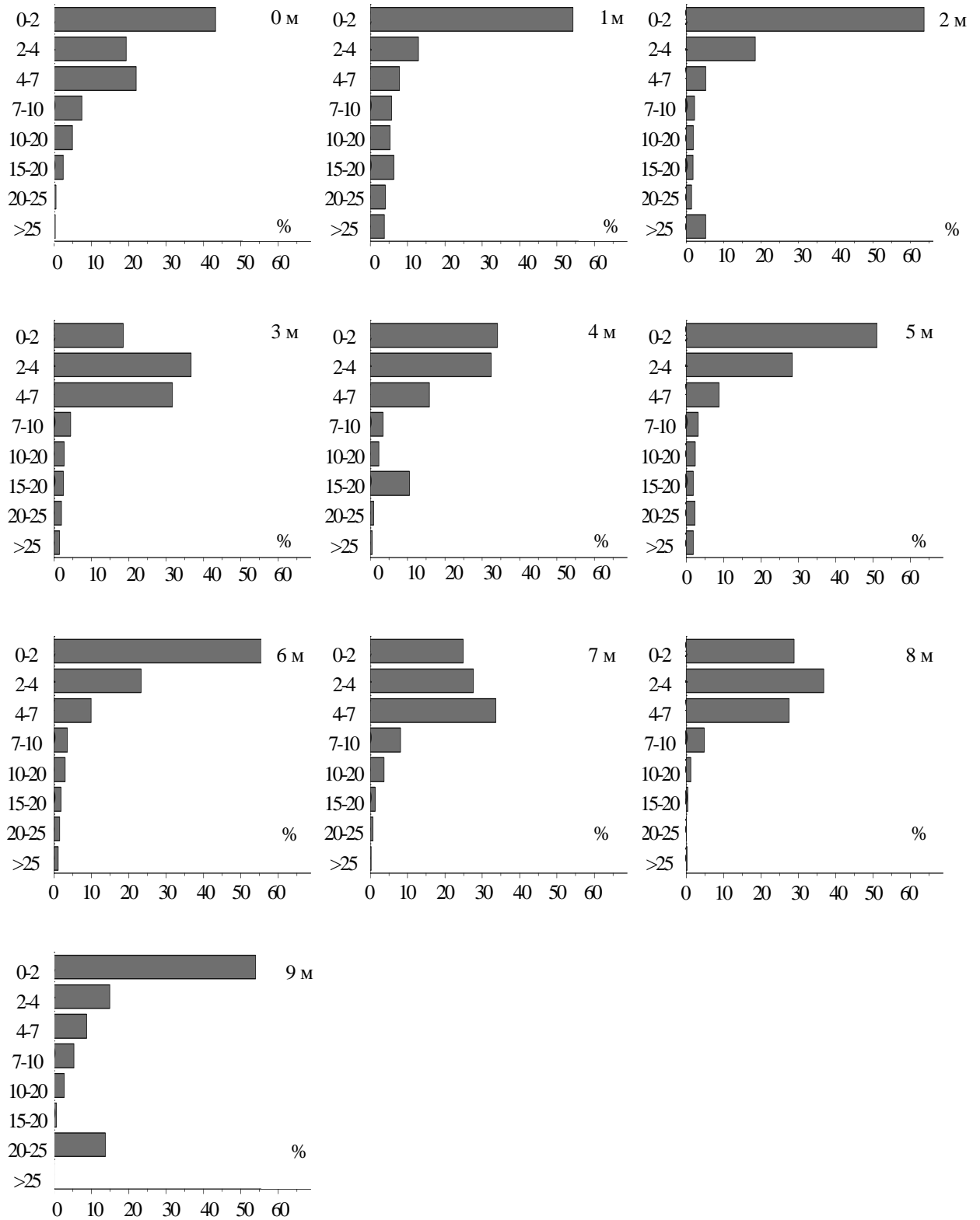


Рис. 3. Вертикальное распределение ^{137}Cs в 30-сантиметровом слое почвы вдоль линии "a12" перпендикулярно урезу воды, % (цифры на диаграммах - расстояние от уреза воды, м).

Мощность почвенного горизонта с 90 %-ным содержанием активности радионуклида также зависит от указанных выше факторов: 3-сантиметровые горизонты с 90 %-ным содержанием активности радионуклида встречаются для ^{154}Eu в 46 % случаев, для ^{241}Am – в 33 %,

рис. 4 - 7

для изотопов плутония – в 4 %, ^{137}Cs – в 8 %, ^{90}Sr – в 2 % случаев; 6-сантиметровые горизонты почвы с 90 %-ным содержанием активности радионуклида встречаются для ^{154}Eu в 85 % случаев, для ^{241}Am – в 78 %, для изотопов плутония – в 67 %, ^{137}Cs – в 52 %, ^{90}Sr – в 35 % случаев. Аналогичная закономерность наблюдается для почвенных профилей полигона “Озеро Глубокое”: 3-сантиметровые горизонты с 90 %-ным содержанием активности радионуклида встречаются для ^{154}Eu в 23 % случаев, для ^{241}Am – в 28 %, для ^{137}Cs – в 3 %, ^{90}Sr – не встречаются; 6-сантиметровые горизонты почвы с 90 %-ным содержанием активности радионуклида встречаются для ^{154}Eu в 77 % случаев, для ^{241}Am – в 81 %, ^{137}Cs – в 29 %, ^{90}Sr – в 34 % случаев.

Приведенные оценки показывают, что в условиях опытных полигонов минимальной миграционной подвижностью характеризуется ^{154}Eu .

Оценки значений изотопных отношений каждого радионуклида и ^{154}Eu в различных горизонтах почвенного профиля, а также параметров вертикального переноса радионуклидов, рассчитанные с использованием конвективно-диффузионной модели переноса, свидетельствуют о том, что максимальной миграционной способностью характеризуется ^{90}Sr , выщелоченный из матрицы топливных частиц.

Расчет параметров вертикального переноса радионуклидов в профиле почв с использованием конвективно-диффузионной модели переноса позволил выявить различия в механизме переноса различных радионуклидов в различных почвенных условиях. Диапазоны варьирования параметров переноса (коэффициент диффузии D и скорость конвективного переноса V_k) радионуклидов в профиле почв экспериментальных полигонов приведены в табл. 2 и 3.

Анализ профилей распределения радионуклидов в почве на различных участках экспериментального полигона, а также значений изотопных отношений $^{90}\text{Sr}/^{154}\text{Eu}$, $^{239,240}\text{Pu}/^{154}\text{Eu}$, $^{241}\text{Am}/^{154}\text{Eu}$, $^{239,240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$, $^{241}\text{Am}/^{137}\text{Cs}$ и $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ с учетом того, что маркером топливных частиц может служить ^{154}Eu , показал, что различия в характере и интенсивности перераспределения рассматриваемых радионуклидов в профиле почв обусловлены рядом причин. В автоморфных минеральных почвах с нормальным водным режимом радионуклиды можно расположить в следующий ряд в соответствии с их миграционной подвижностью: $^{90}\text{Sr} > ^{137}\text{Cs} > ^{241}\text{Am} > ^{154}\text{Eu} \sim ^{239,240}\text{Pu}$. В гидроморфных органогенных почвах миграционная подвижность ^{137}Cs сопоставима или превышает таковую ^{90}Sr . В случае малой интенсивности деструкции топливных частиц и перехода радионуклидов из их матрицы в почвенный раствор наблюдается близкая интенсивность переноса всех радионуклидов. Понятно, что при механическом перемешивании почвы, например в результате деятельности животных, наблюдаются практически одинаковые профили распределения радионуклидов в почве.

Таким образом, неоднородность пространственного распределения выпадений на территории, множественность физико-химических форм радиоактивных выпадений и различная динамика их трансформации в почве, сложный радионуклидный состав выпадений, гетерогенность почвенного покрова, роющая деятельность диких животных определяют существенно различную интенсивность перераспределения радионуклидов в профиле почв.

Различия в распределении основных дозообразующих радионуклидов в профиле почв, как и различия в плотности органогенных и минеральных почв, существенно сказываются на формировании как мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-полей на различных участках экспериментального полигона, так и ее динамики. Гетерогенность пространственного распределения радиоактивного загрязнения на территории полигонов вкуче с указанными выше причинами определяет существенные различия в значениях МЭД на различных участках полигонов.

табл. 2

табл. 3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kuriny V. D., Ivanov Yu. A., Kashparov V. A. et al.* Particle-associated Chernobyl fall-out in the local and intermediate zones. // *Annals of Nuclear Energy*. - 1993. - Vol. 20, No. 6. - P. 415 - 420.
2. *Іванов Ю. О.* Динаміка перерозподілу радіонуклідів у ґрунтах і рослинності // *Чорнобиль. Зона відчуження*. - К.: Наук. думка. - 2001.- С. 47 – 76.
3. *Кашипаров В. О., Лундін С. М., Зварич С. І. та ін.* Викид та забруднення території радіонуклідами у складі паливних частинок // *Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення*. - 2002. - № 2. - С. 22 - 32.
4. *Іванов Ю. А., Кашипаров В. А., Левчук С. Е. и др.* Вертикальный перенос радионуклидов выброса ЧАЭС в почвах. 1. Долговременная динамика перераспределения радионуклидов в профиле почв in situ // *Радиохимия*. - 1996. - Т. 38, вып. 3. - С. 264 - 271.
5. *Bondarkov M. D., A. M. Maksimenko, V. A. Zheltonozhsky.* Non radiochemical technique for ⁹⁰Sr measurement: Proceedings Volume 2 of the International Congress "ECORAD 2001", Aix-en-Provence (France), 3 - 7 Sept. 2001 // *Radioprotection – Colloques*. - 2002. - Vol. 37, C1. - P. 927 - 931.
6. *Bondarkov M. D., V. A. Zheltonozhsky, A. M. Maksimenko et al.* Plutonium isotopes content in Chernobyl samples based on Uranium characteristic Lx-radiation // *Proceedings from the International conference on radioactivity in the environment*, 1 - 5 Sept. 2002, Monaco. CD collections of the poster reports.
7. *Левчук С.Е., Лощилов Н.А., Кашипаров В.А. и др.* Пакет прикладных программ по прогнозированию вертикальной миграции радионуклидов // *Проблемы сельскохозяйственной радиологии: Сб. науч. тр. / Под ред. Н. А. Лощилова*. - К., 1993. - С. 3 7.

Поступила в редакцию 07. 06. 06

**15 ВЕРТИКАЛЬНА МІГРАЦІЯ РАДІОНУКЛІДІВ НА ДОСЛІДНИХ ПОЛІГОНАХ
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ**

**М. Д. Бондарьков, М. В. Желтоножська, С. П. Гащак, Ю. О. Іванов, А. М. Максименко,
В. І. Мартиненко, Б. Роджерс, Р. К. Чессер, Д. М. Бондарьков**

Проведено вимірювання міграції радіонуклідів цезію, стронцію, плутонію, америцію тощо в ґрунтах двох дослідницьких полігонів у зоні відчуження ЧАЕС, що характеризуються контрастними ландшафтно-геохімічними умовами, фізико-хімічними формами випадань і динамікою їхньої трансформації. Подано також оцінки деяких параметрів перерозподілу радіонуклідів у профілі ґрунтів.

**15 VERTICAL MIGRATION OF RADIOACTIVE NUCLIDES ON RESEARCH SITES OF CHERNOBYL
ZONE**

**M. D. Bondarkov, M. V. Zheltonozhska, S. P. Gaschak, Yu. A. Ivanov, A. M. Maksimenko,
V. I. Martynenko, B. Rodjers, R. K. Chesser, D. M. Bondarkov**

Measurement of migration of radionuclides of Cs, Sr, Pu, Am etc. have been carried out in the soil samples of research sites of Chernobyl Exclusion zone. Research sites are characterized by contrasting landscape and geochemical conditions, physical and chemical forms of fallout and dynamic of their transformations. Calculations of several parameters of redistribution of radionuclides in soil profiles are represented also.

35 35 35

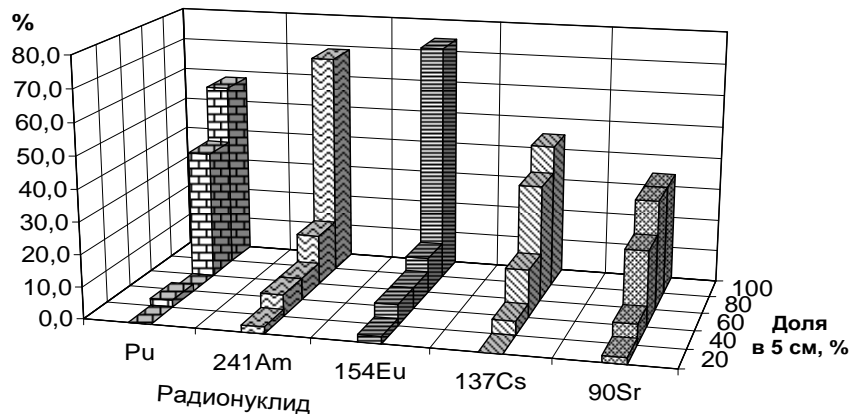


Рис. 4. Частотные распределения доли ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ от суммарного содержания каждого радионуклида в профиле, содержащейся в 5-сантиметровом горизонте почвы на полигоне “Рыжий лес” (N = 46).

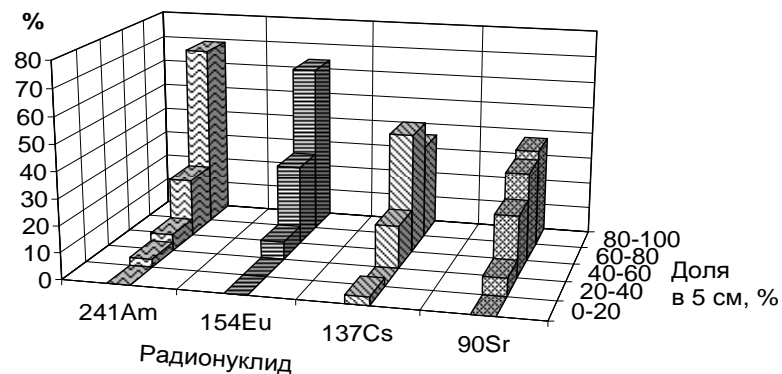


Рис. 5. Частотные распределения доли ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu и ^{241}Am от суммарного содержания каждого радионуклида в профиле, содержащейся в 5-сантиметровом горизонте почвы на полигоне “Озеро Глубокое” (N = 30).

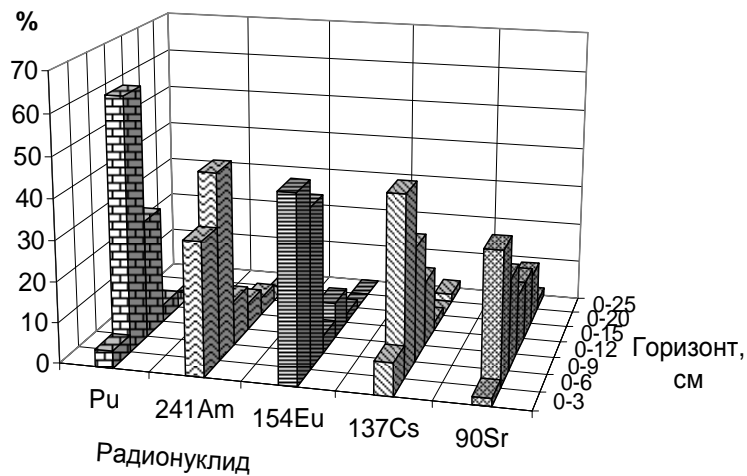


Рис. 6. Частотные распределения значений глубины почвенного горизонта с 90 %-ным содержанием ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ от суммарного содержания в профиле почвы на полигоне “Рыжий лес” (N = 46).

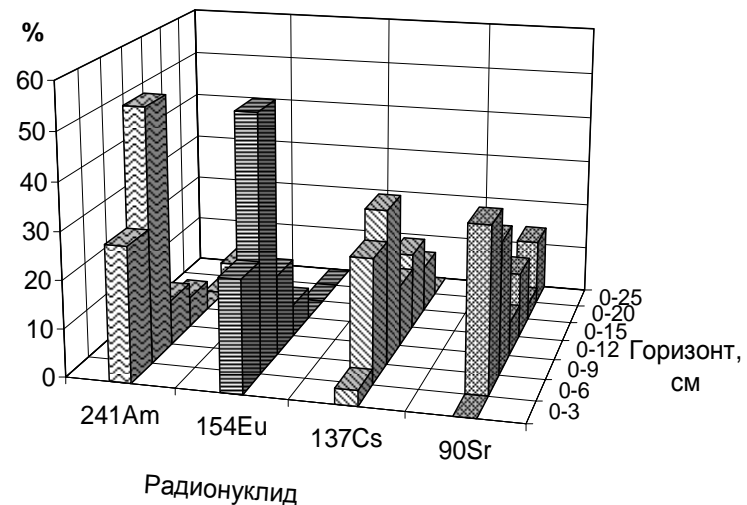


Рис. 7. Частотные распределения значений глубины почвенного горизонта с 90 %-ным содержанием ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu и ^{241}Am от суммарного содержания в профиле почвы на полигоне “Озеро Глубокое” (N = 30).

Таблица 2. Параметры переноса ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ в профиле почв участков полигона "Рыжий лес"

Участки	N*	Параметр	^{90}Sr	^{137}Cs	^{154}Eu	^{241}Am	Pu
заболоченные и увлажненные	11	D**	$(9,3^{+21}_{-4,1}) \cdot 10^{-9}$	$(4,1^{+9,8}_{-4,7}) \cdot 10^{-9}$	$(3,2^{+8,6}_{-1,2}) \cdot 10^{-9}$	$(3,1^{+8,2}_{-1,2}) \cdot 10^{-9}$	$(4,9^{+12}_{-2,0}) \cdot 10^{-9}$
		V***	$(1,0^{+32}_{-0,03}) \cdot 10^{-9}$	$(5,9^{+9,8}_{-3,6}) \cdot 10^{-9}$	$(5,6^{+9,8}_{-3,2}) \cdot 10^{-9}$	$(5,7^{+11}_{-3,0}) \cdot 10^{-9}$	$(1,1^{+15}_{-0,08}) \cdot 10^{-10}$
переувлажненные	7	D	$(1,7^{+3,6}_{-0,8}) \cdot 10^{-8}$	$(1,1^{+2,1}_{-0,5}) \cdot 10^{-8}$	$(1,8^{+7,5}_{-0,4}) \cdot 10^{-9}$	$(2,8^{+2,8}_{-1,2}) \cdot 10^{-9}$	$(5,7^{+9,0}_{-3,5}) \cdot 10^{-9}$
		V	$(8,5^{+32}_{-0,2}) \cdot 10^{-13}$	$(6,5^{+67}_{-0,06}) \cdot 10^{-12}$	$(3,4^{+5,8}_{-2,0}) \cdot 10^{-9}$	$(3,3^{+5,3}_{-2,0}) \cdot 10^{-9}$	$(4,9^{+8,6}_{-0,3}) \cdot 10^{-14}$
представленные автоморфными почвами	24	D	$(6,8^{+15}_{-3,0}) \cdot 10^{-9}$	$(5,0^{+10}_{-2,4}) \cdot 10^{-9}$	$(2,0^{+5,1}_{-0,8}) \cdot 10^{-9}$	$(2,3^{+4,2}_{-1,3}) \cdot 10^{-9}$	$(4,3^{+7,5}_{-2,5}) \cdot 10^{-9}$
		V	$(1,7^{+31}_{-0,01}) \cdot 10^{-13}$	$(1,5^{+34}_{-0,1}) \cdot 10^{-13}$	$(2,6^{+10}_{-0,06}) \cdot 10^{-11}$	$(3,0^{+9,7}_{-0,1}) \cdot 10^{-12}$	$(2,6^{+49}_{-0,1}) \cdot 10^{-13}$

* Количество профилей.

** Среднее геометрическое и погрешности коэффициента диффузии, $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

*** Среднее геометрическое и погрешности скорости конвективного переноса, $\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$.

Таблица 3. Параметры переноса ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu и ^{241}Am в профиле почв участков полигона "Озеро Глубокое"

Участок	N*	Параметр	^{90}Sr	^{137}Cs	^{154}Eu	^{241}Am
с существенным вкладом конвективного переноса всех радионуклидов, в профиле почв полигона "Озеро Глубокое"	4	D**	$(1,2^{+2,1}_{-0,7}) \cdot 10^{-8}$	$(4,8^{+9,0}_{-2,5}) \cdot 10^{-9}$	$(3,0^{+6,2}_{-1,5}) \cdot 10^{-9}$	$(1,8^{+2,5}_{-1,3}) \cdot 10^{-9}$
		V***	$(9,2^{+13}_{-6,6}) \cdot 10^{-9}$	$(6,6^{+8,0}_{-5,5}) \cdot 10^{-9}$	$(6,3^{+6,9}_{-5,7}) \cdot 10^{-9}$	$(6,0^{+7,1}_{-5,1}) \cdot 10^{-9}$
с существенным вкладом конвективного переноса всех рН и преимущественно диффузионного переноса ^{90}Sr , tb6	5	D	$(1,5^{+4,5}_{-0,5}) \cdot 10^{-8}$	$(5,5^{+8,2}_{-3,6}) \cdot 10^{-9}$	$(2,4^{+27}_{-2,1}) \cdot 10^{-9}$	$(3,7^{+3,7}_{-1,7}) \cdot 10^{-9}$
		V	$(2,6^{+20}_{-3,4}) \cdot 10^{-13}$	$(3,3^{+7,6}_{-1,4}) \cdot 10^{-9}$	$(5,7^{+8,4}_{-3,8}) \cdot 10^{-9}$	$(4,5^{+8,3}_{-2,5}) \cdot 10^{-9}$
с существенным вкладом конвективного переноса ^{154}Eu и ^{241}Am , в профиле	7	D	$(2,0^{+3,6}_{-1,1}) \cdot 10^{-8}$	$(1,6^{+2,6}_{-1,0}) \cdot 10^{-8}$	$(1,9^{+2,9}_{-1,3}) \cdot 10^{-9}$	$(2,0^{+2,9}_{-1,4}) \cdot 10^{-9}$
		V	$(5,1^{+49}_{-0,1}) \cdot 10^{-11}$	$(1,9^{+46}_{-0,1}) \cdot 10^{-13}$	$(4,3^{+5,6}_{-3,3}) \cdot 10^{-9}$	$(3,8^{+5,5}_{-2,6}) \cdot 10^{-9}$
с существенным вкладом диффузионного переноса и высокой его интенсивностью	6	D	$(2,3^{+3,7}_{-1,4}) \cdot 10^{-8}$	$(1,5^{+3,2}_{-0,7}) \cdot 10^{-8}$	$(7,7^{+20}_{-3,0}) \cdot 10^{-9}$	$(6,6^{+19}_{-2,3}) \cdot 10^{-9}$
		V	$(1,5^{+3,7}_{-0,6}) \cdot 10^{-13}$	$(1,9^{+12}_{-0,1}) \cdot 10^{-13}$	$(6,4^{+17}_{-0,2}) \cdot 10^{-12}$	$(1,6^{+38}_{-0,06}) \cdot 10^{-14}$
с существенным вкладом диффузионного переноса и невысокой его интенсивностью	8	D	$(3,8^{+4,3}_{-0,3}) \cdot 10^{-9}$	$(8,7^{+19}_{-3,9}) \cdot 10^{-9}$	$(4,6^{+13}_{-1,7}) \cdot 10^{-9}$	$(3,4^{+8,4}_{-1,4}) \cdot 10^{-9}$
		V	$(2,2^{+11}_{-0,5}) \cdot 10^{-13}$	$(3,5^{+27}_{-0,5}) \cdot 10^{-13}$	$(6,1^{+31}_{-0,1}) \cdot 10^{-11}$	$(4,8^{+66}_{-0,4}) \cdot 10^{-14}$

* Количество профилей.

** Среднее геометрическое и погрешности коэффициента диффузии, $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

*** Среднее геометрическое и погрешности скорости конвективного переноса, $\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$.

