

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО РОЗПОДІЛУ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТА ВЕРТИКАЛЬНОЇ МІГРАЦІЇ ^{137}Cs ДЛЯ МАЙДАНЧИКА В ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

У статті наводиться аналіз даних моделювання вертикальної міграції радіонукліда ^{137}Cs у ґрунтах Чорнобильської зони відчуження, а також його поверхневого розподілу на стаціонарному обстежуваному майданчику.

Через 15 років після Чорнобильської катастрофи радіаційний фактор продовжує залишатися основним у визначенні потенційної небезпеки 30-кілометрової зони відчуження навколо Чорнобильської АЕС для прилеглих територій та України в цілому. Тут сконцентрована значна частина радіонуклідів аварійного викиду. Без врахування пунктів захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ), пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів (ПТЛРВ) та об'єкта «Укриття» загальний запас радіонуклідів у природних об'єктах Зони відчуження становить близько $8,13 \cdot 10^{15}$ Бк (з них ^{137}Cs становить $5,5 \cdot 10^{15}$ Бк, ^{90}Sr – $2,5 \cdot 10^{15}$ Бк, трансуранові елементи (ТУЕ) – $0,13 \cdot 10^{15}$ Бк).

Постійно відбувається винос радіоактивних речовин за межі Зони відчуження шляхом їх міграції в екосистемах довкілля.

Тому радіоактивне забруднення території Зони внаслідок можливого виносу радіоактивних речовин за її межі являє собою потенційну небезпеку для України. У зв'язку з цим дослідження різних видів міграції радіонуклідів чорнобильського походження в навколишньому середовищі залишаються актуальними і на сьогоднішній день. Слід зазначити, що основними факторами, що зумовлюють міграцію радіонуклідів у ландшафтно-геохімічних комплексах, є: фільтрація атмосферних опадів углиб ґрунту, капілярний підтік вологості до поверхні в результаті випаровування, переміщення вологості під дією градієнтів напору та температур, дифузія вільних і адсорбованих іонів, перенесення по кореневих системах рослин, перенесення на мігруючих колоїдних частках, життєдіяльність ґрунтових тварин, господарська діяльність людини [2].

У даній роботі наведено аналіз результатів досліджень, проведених у ході двох щорічних міжнародних шкіл, організованих Європейським центром техногенної безпеки та Інститутом дослідження ризику (Відень, Австрія), під час яких в 30-кілометровій зоні відчуження навколо Чорнобильської АЕС було здійснено вимірювання щільності поверхневого радіоактивного забруднення та розподілу концентрації радіонуклідів у ґрунті.

Місцем проведення вимірювань було обрано не порушену людською діяльністю (головна умова достовірності отриманих результатів) ділянку поля розміром 100×100 м, яка знаходиться за 5 км на південь від ЧАЕС. Крок вимірів становив 10 м, тобто загальна кількість вимірювань становила 121. Для визначення щільності поверхневого забруднення ($\text{Бк}/\text{м}^2$) було застосовано метод In situ гамма-спектрометрії. Для цього використовувався портативний спектрометр гамма-випромінювання АБА-П зі сцинтиляційним детектором $\text{NaI}(\text{TI})$, що був попередньо відкалібрований для виконання такого роду вимірювань. У кожній з точок вимірювання детектор за допомогою триноги встановлювався на висоті 1 м, і протягом 60–80 с проводився набір спектра гамма-випромінювання. Отриманий спектр заносився в пам'ять пристрою, а потім була проведена обробка та визначено швидкість лічби (імпульси/с) в піку повного поглинання радіонукліда ^{137}Cs (саме він на даний момент в основному зумовлює радіоактивне забруднення зони відчуження). Наступним кроком був розрахунок щільності поверхневого забруднення по ^{137}Cs за формулою:

$$A = k \cdot N, \quad (1)$$

де A [$\text{Бк}/\text{м}^2$] – щільність поверхневого забруднення по ^{137}Cs ; k [(с/імп) · ($\text{Бк}/\text{м}^2$)] – коефіцієнт перерахунку, вирахований попередньо; N [імп/с] – швидкість лічби в піку повного поглинання ^{137}Cs .

Для моделювання розподілу поверхневого радіоактивного забруднення території використовувалася пакет програм Surfer, у якому для генерування тривимірної моделі було застосовано метод Крігінга.

Для розрахунку вертикального розподілу та створення моделей міграції радіонуклідів у ґрунті було проведено відбір зразків. З цієї метою в центрі досліджуваної ділянки було обрано майданчик розміром 2×2 м. Зразки з інтервалом 1 м відбиралися методом «кільця» – металевого пробовідбірника діаметром 8 см до глибини 25 см (цей шар містить практично весь сумарний запас активності ^{137}Cs). Після цього відібраний зразок ділився

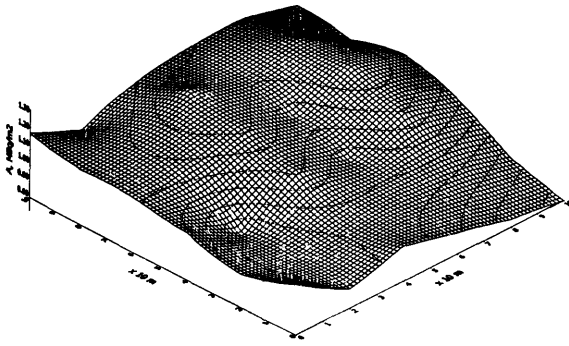


Рис. 1. Тривимірний розподіл щільності поверхневого забруднення ^{137}Cs [МБк/м²] на досліджуваній ділянці розміром 100×100 м

на декілька шарів по глибині для проведення подальших вимірів концентрації ^{137}Cs .

Для розрахунку характеристик вертикальної міграції ^{137}Cs спочатку було визначено щільність поверхневого забруднення [Бк/м²] за формулою:

$$A = \frac{N_{\text{зр}} - N_{\text{ф}}}{k_{\gamma} \cdot \varepsilon \cdot S_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

де $N_{\text{зр}}$ – швидкість лічби в піку повного поглинання ^{137}Cs [імп/с] для вимірюваного зразка; $N_{\text{ф}}$ – фонові швидкість лічби в піку повного поглинання ^{137}Cs [імп/с]; k_{γ} – квантовий вихід (для лінії випромінювання ^{137}Cs з $E_{\gamma} = 661,6$ кеВ, $k_{\gamma} = 0,85$); ε – ефективність реєстрації гамма-квантів детектором (у даному випадку для лінії випромінювання ^{137}Cs з $E_{\gamma} = 661,66$ кеВ, $\varepsilon = 5,2$ %); $S_{\text{пр}}$ – площа пробовідбору (площа кільця пробовідбірника).

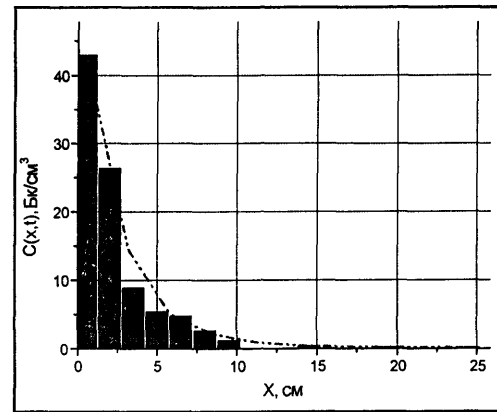
Потім для розрахунку розподілу об'ємної концентрації застосовувалася ізотермічна модель простої дифузії [1] з урахуванням лінійної сорбції:

$$C(x,t) = J_0 e^{\frac{v}{2D}\left(x - \frac{vt}{2}\right)} \times \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}} - \frac{v}{2D} e^{\frac{v}{2D}\left(x + \frac{vt}{2}\right)} \operatorname{erfc}\left(\frac{v}{2}\sqrt{\frac{t}{D}} + \frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \right\}, \quad (3)$$

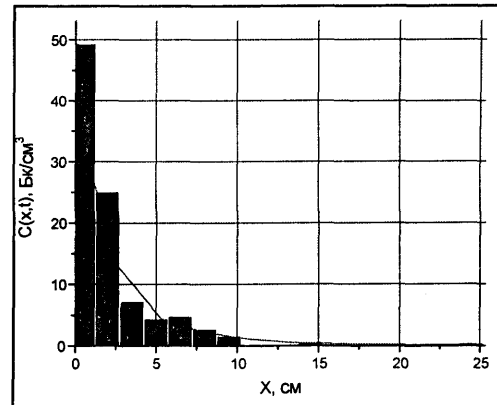
де $C(x,t)$ – об'ємна концентрація [Бк/см³] для глибини x та часу міграції t (в даному випадку $t = 14,4$ року між випадінням та проведенням пробовідбору); J_0 – щільність поверхневого забруднення [Бк/см²]; D – коефіцієнт дифузії [см²/рік], який характеризує дисперсію профілю ($D = D'/R$, де D' – стала молекулярної дифузії, R – коефіцієнт затримки); v – швидкість міграції [см/рік], яка характеризує зміну положення максимуму концентрації ^{137}Cs ($v = v'/R$, де v' – коефіцієнт вологості у порах ґрунту).

На основі отриманих даних було проаналізовано поведінку ^{137}Cs у ґрунті та змодельовано картину його міграції шляхом пошарового розподілу по глибині на даний момент та через інтервали часу 5, 10 та 20 років (рис. 2, а–г відповідно).

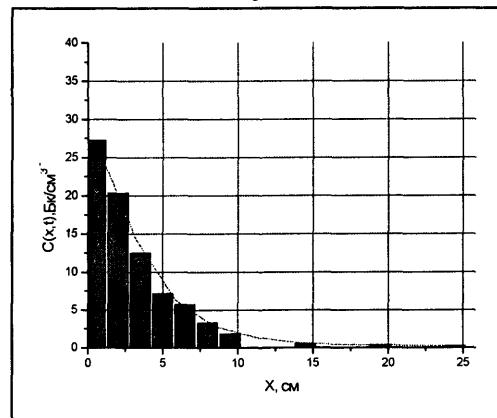
Таким чином, є очевидним факт, що в наступні декілька десятиліть максимум активності ^{137}Cs



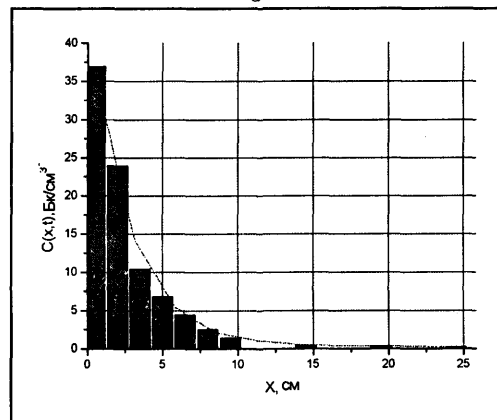
а



б



в



г

Рис. 2. Пошаровий розподіл ^{137}Cs по глибині на даний момент (а) та через інтервали часу 5 (б), 10 (в) та 20 (г) років

поступово зміщуватиметься вглиб ґрунту, а характер пошарового розподілу активності суттєво не змінюватиметься, наближаючись до експоненціального вигляду.

У майбутньому планується провести експериментальну роботу та теоретичні розрахунки щодо визначення міграції ^{137}Cs , ^{241}Am , Sr та інших радіонуклідів у різних типах ґрунтів зони відчуження, а також розрахувати вклад компоненти так зва-

них гарячих частинок (в основному це частинки палива та будівельних конструкцій, що становлять від 10 до 50 % загальної активності в ґрунті), з'ясувати особливості їх міграції для розрахунку даної компоненти в загальних моделях. Також передбачається створення карт радіаційного забруднення прилеглих до Чорнобильської АЕС територій з метою уточнення та прогнозування розподілу поверхневого забруднення даної території радіонуклідами.

1. Bossew P., Gohla H., Hofer P. Vertical Distribution of Gamma Emitting Radionuclides in Soil from the Chernobyl Exclusion Zone, Proceedings of the International Conference «15 Years of Chernobyl Catastrophe. Lessons Learned».-Kyiv.-2001.
2. Щеглов А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах / По материалам 10-летних исследова-

ний в зоне влияния аварии на ЧАЭС.- М.: Наука, 1999.- 268с.

Иванов Ю. А., Кашпаров В. А., Хомутинин Ю. В., Левчук С. Е. Математическое моделирование вертикального переноса радионуклидов в почвах // Совместный экспериментальный проект № 2 ECSC-EC-EAEC.- Брюссель, Люксембург-1996-С. 37-44.

S. V. Volkovych, S. V. Dubchak, O. V. Franchuk

MODELING OF SURFACE DISTRIBUTION OF RADIOACTIVE CONTAMINATION AND VERTICAL MIGRATION OF ^{137}Cs FOR THE SITE IN CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

In the article the modeling data for vertical migration of radionuclide ^{137}Cs in soils of Chernobyl exclusion zone as well as its surface distribution at investigated stationary site have been analyzed.