

# МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ У ГРУНТІ ТА ГРУНТОВО-ЕКОЛОГІЧНИЙ РАДІАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ

**В. В. Курятников**

*Одеський державний екологічний університет, м.Одеса, Україна*  
kuryatnikov1@ukr.net

*Розглянуто модель, яка достатньо добре описує міграцію радіонуклідів і їх перерозподіл у складних ландшафтах. Для аналізу надійності методів і засобів радіаційного контролю відпрацьована методика, створені алгоритм і програма розрахунку, які дозволяють статистично обробити дані радіаційного моніторингу і представити їх в табличному і графічному вигляді.*

***Ключові слова:** моделювання, міграція, радіонукліди, радіаційний моніторинг.*

**УДК 53.(087)**

Радіонукліди мігрують в ґрунті як в результаті переміщення його частинок, так і за рахунок конвективного і дифузійного переносу розчинених і колоїдних форм. Рух частинок у верхньому шарі ґрунту обумовлено рухом по порах, тріщинах або порожнинах в ґрунті і їх перемішуванням.

Велика частина викинутих в результаті аварії на Чорнобильській АЕС радіоактивних речовин потрапила в ґрунт і знаходиться там до теперішнього часу. Тому продовжує залишатися актуальним моделювання процесів міграції радіонуклідів у ґрунті і питання ґрунтового - екологічного моніторингу.

Ряд авторів [1-2] схильні вважати, що моделювання механічного перенесення частинок в ґрунті в даний час неможливо через його недостатню вивченість. В рамках іншого підходу до вирішення задачі процеси міграції розглядаються як процеси еволюції системи і описуються еволюційними рівняннями. У цьому разі система розбивається на ряд підпорядкованих один одному елементів (камер), про які судять тільки за двома чинниками: константа транспортування і константа проникнення.

При опису кінетики розподілу радіонуклідів на ландшафтах останні можна розглядати як сукупність камер. Кожна камера цієї системи відповідає певному ландшафту.

Скористаємося рівняннями, що визначають зміну концентрації радіонукліда у часі:

$$\begin{aligned}
\frac{dC_1}{dt} &= -(f_1 + \lambda_{mp,1} + \lambda)C_1, \\
\frac{dC_2}{dt} &= (f_1 + \lambda_{mp,1} + \lambda)C_1 - (f_2 + \lambda_{mp,2} + \lambda)C_2, \\
\frac{dC_3}{dt} &= (f_2 + \lambda_{mp,2} + \lambda)C_2 - (f_3 + \lambda_{mp,3} + \lambda)C_3
\end{aligned}
\tag{1}$$

Початкові умови:  $t=0$ ,  $C_1(0)=C_{10}$ ,  $C_2(0)=C_{20}$ ,  $C_3(0)=C_{30}$ , де  $\lambda$  - константа розпаду,  $\lambda$  тр - константа швидкості транспортування радіонукліда, год<sup>-1</sup>,  $F$ - константа проникнення радіонукліда,  $C$ - концентрація радіонукліда.

Розв'язок цієї системи рівнянь:

$$\begin{aligned}
C_1 &= C_{10}e^{-(F_1 + \lambda_{mp,1} + \lambda)t} \\
C_2 &= C_{20}e^{-(F_1 + \lambda_{mp,1} + \lambda)t} + \frac{(F_1 + \lambda_{mp,1} + \lambda)C_{10}}{F_2 - F_1}(e^{-(F_1 + \lambda_{mp,1} + \lambda)t} - e^{-(F_2 + \lambda_{mp,2} + \lambda)t}) \\
C_3 &= C_{30}e^{-(F_3 + \lambda_{mp,3} + \lambda)t} + \frac{(F_2 + \lambda_{mp,2} + \lambda)C_{20}}{F_3 - F_2}(e^{-(F_2 + \lambda_{mp,2} + \lambda)t} - e^{-(F_3 + \lambda_{mp,3} + \lambda)t}) + \\
&\quad \frac{(F_1 + \lambda + \lambda)C_{10}}{F_2 - F_1}(e^{-(F_1 + \lambda_{mp,1} + \lambda)t} - e^{-(F_2 + \lambda_{mp,2} + \lambda)t})
\end{aligned}
\tag{2}$$

Розрахунки зміни концентрації в залежності від часу проведені для кожної камери. Початкова концентрація бралася постійною  $C_0=0,02$  (Кі/км<sup>2</sup>) і постійна радіоактивного розпаду  $\lambda=0,025$  (1/год.).

Розрахунки, які проведені відповідно до цієї моделі, показали, що на автономних ландшафтах завжди спостерігається зниження концентрації радіонукліда у часі, що обумовлене відповідними значеннями констант транспортування і проникнення, з яких найбільша роль належить константі транспортування. На геохімічно підпорядкованих ландшафтах відбувається перерозподіл радіонуклідів і накопичення їх у часі. При максимальних значеннях константи транспортування спостерігаються мінімальні значення концентрації на автономному ландшафті. Концентрація на геохімічно підпорядкованих ландшафтах поводить по-різному і, виходячи з цього, можна визначити, який із ландшафтів є геохімічним бар'єром, а який транзитним. Внесок в загальну дозу розглянутих радіонуклідів визначається в першу чергу радіонуклідом <sup>137</sup>Cs, так як він має більш високу активність у порівнянні з <sup>103</sup>Ru і <sup>144</sup>Ce. Ці радіонукліди також містяться в ґрунтах у великій кількості і ступінь міграції їх більше, ніж у інших радіонуклідів.

Розглянута модель при своїй очевидній простоті достатньо добре описує міграцію радіонуклідів і їх перерозподіл в складних ландшафтах, про що свідчить відповідність отриманих результатів відомим експериментальним даним. Для більш точного визначення залежності концентрації радіонуклідів від константи їх проникнення необхідно враховувати фізико-хімічні властивості ґрунту, що дозволяє використовувати модель для прогнозування накопичення радіонуклідів в ґрунті.

Достовірність інформації, отриманої в процесі вимірювань, забезпечує статистичний аналіз даних радіаційного моніторингу на контрольованій території. Вона досягається шляхом вирішення таких основних задач:

- визначення статистичних характеристик поля радіаційного забруднення за даними радіаційного моніторингу;
- аналіз адекватності радіаційного стану середовища встановленим на Україні нормативам [3-4];
- статистичний аналіз [5-8] надійності методів і засобів радіаційного контролю середовища при значеннях контрольованих параметрів порядку фонових.

Задача оцінки надійності методів і засобів радіаційного контролю вирішується шляхом порівняння середніх значень контрольованих параметрів з мінімальною детектованою активністю (МДА), яка забезпечується даними засобом або методом вимірювання.

Для визначення МДА за даними вимірів будуються статистичні розподіли величин контрольованих параметрів. Оцінюються характер статистичних розподілів і їх перші та другі моменти. Визначається кореляція між вимірюваними параметрами.

### **Висновки**

1. Розглянута модель міграції достатньо добре описує міграцію радіонуклідів і їх перерозподіл в складних ландшафтах, про що свідчить відповідність отриманих результатів відомим експериментальним даним.
2. Для аналізу надійності методів і засобів радіаційного контролю відпрацьована методика розрахунку мінімальної детектованої активності (МДА), яка порівнюється із середніми значеннями параметрів, що контролюються.
3. Розроблені алгоритм і програма розрахунку дозволяють статистично обробити дані моніторингу і представити їх в табличному і графічному вигляді.
4. Статистична обробка даних моніторингу свідчить про такі значення МДА при заданій ймовірності  $\alpha$ , які відповідають в прийнятій термінології задовільній якості контролю радіаційного стану середовища використовуваними методами і засобами вимірювань.

### Література

1. Сельскохозяйственная радиоэкология./Под ред. Р.М.Алексахина, Н.А.Корнеева/- М.: Экология, 1992г.- 400с.
2. Прохоров В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование./ Под ред. Р.М.Алексахина- М.: Энергоиздат, 1981с.-98с.
3. Нормы радиационной безопасности Украины. НРБ-97, Киев, 1997.
4. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. 2-е изд. перераб. и дополн. – М.: Энергоиздат, 1991.– 256с.
5. Вопросы дозиметрии и радиационная безопасность на АЭС. под ред. А.В.Носовского, Славутич, Укратомиздат, 1998, 406 с.
6. Худсон Д. Статистика для физиков. М.:Мир, 1967, 243с.
7. П.В.Новицкий, И.А.Зограф. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.:Энергоатомиздат, 1991, 304с.