

ОЦЕНКА СКОРОСТИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ Cs-137 В ПОЧВЕННЫХ ГОРИЗОНТАХ

П. С. Соболева

Брестский государственный технический университет, Брест
Научный руководитель: Т. Л. Кушнер, к.ф.-м.н., доцент

В Республике Беларусь имеется несколько регионов, загрязненных долгоживущим радионуклидом Cs-137 после аварии на Чернобыльской АЭС. С течением времени происходит естественная миграция радиоизотопов из верхних слоев почвы в более глубокие. Причиной такого перемещения является диффузия и перенос с дождевой и талой водой. Концентрация радионуклидов в почве на различной глубине зависит от множества факторов и представляет большой интерес для исследования, поскольку влияет на перенос Cs-137 из почвы в растения [1]. Наиболее эффективным методом исследования распределения радионуклида в почве является определение удельной активности проб грунта, взятых с различной глубины.

Целью данной работы является оценка скорости миграции радионуклидов в почвенных горизонтах на основе ранее полученных экспериментальных данных удельной активности образцов почвы по Cs-137, и имеющихся профилей распределения радионуклида по глубине [2].

Для оценки скорости миграции Cs-137 применялась модель «черного ящика» [3], блок-схема которой приведена на рисунке 1. В данной модели каждый слой почвы представляется как вещество, обладающее определенной активностью за счет содержащегося в нем радионуклида. Изменение активности со временем в каждом слое определяется следующими факторами:

- поступление радионуклида из предыдущего слоя;
- перемещение радиоизотопа в последующий слой;
- естественный радиоактивный распад.

Расчеты производились процедуры «fitting» с использованием программных продуктов «Excel» и «Mathematica».

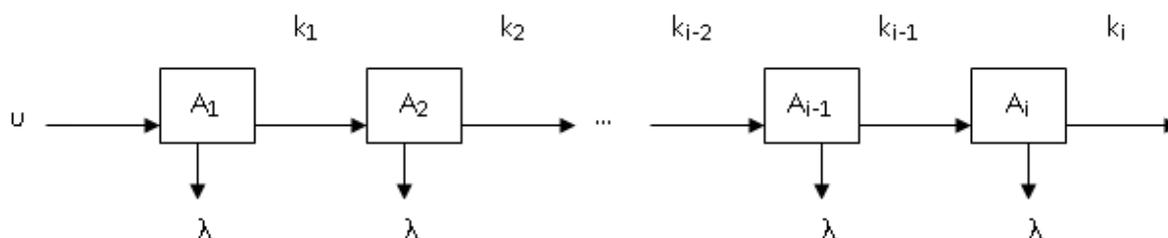


Рисунок 1 – Блок-схема модели «черный ящик»

Изменение активности с течением времени в каждом из горизонтов описывается следующими дифференциальными уравнениями:

$$\frac{dA_1}{dt} = v - (k_1 + \lambda) \cdot A_1, \quad (1)$$

где A_1 – активность радионуклида в первом горизонте; k_1 – коэффициент переноса радионуклида из первого слоя во второй; λ – постоянная радиоактивного распада; v – скорость осаждения радионуклида на поверхность почвы.

Из выражения (1) следует, что

$$\frac{dA_1}{dt} + (k_1 + \lambda) \cdot A_1 = \nu \quad (2)$$

Для последующих горизонтов с активностью A_i коэффициентом переноса k_i имеем:

$$\frac{dA_i}{dt} = k_{i-1} \cdot A_{i-1} - (k_i + \lambda) \cdot A_i \quad (3)$$

$$\frac{dA_i}{dt} + (k_i + \lambda) \cdot A_i = k_{i-1} \cdot A_{i-1} \quad (4)$$

Данная модель отличается сравнительной простотой. В качестве i -го горизонта можно рассматривать однородный по своему составу слой почвы, но существенно отличающийся от соседнего. Примером могут служить почвы лесов.

Решением рассматриваемых дифференциальных уравнений являются следующие равенства:

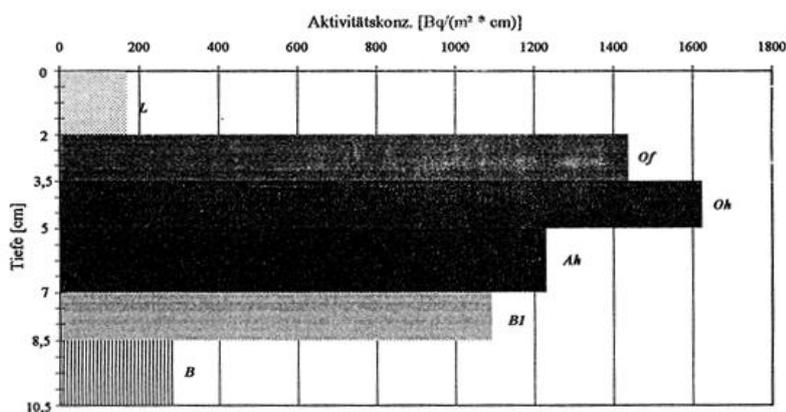
$$A_1(t) = A_1(0) \cdot e^{-(k_1 + \lambda)t} + \frac{\nu}{k_1 + \lambda} \cdot (1 - e^{-(k_1 + \lambda)t}) \quad (5)$$

$$A_i(t) = A_i(0) \cdot e^{-(k_i + \lambda)t} + \frac{k_{i-1} \cdot A_{i-1}}{k_i + \lambda} \cdot (1 - e^{-(k_i + \lambda)t}) \quad (6)$$

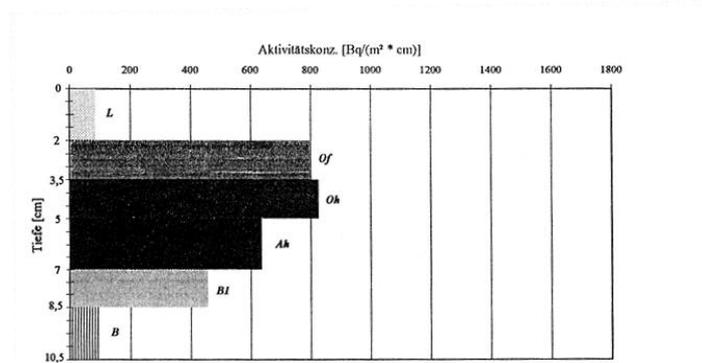
У рассмотренной модели есть определенные недостатки. Во-первых, перенос радионуклидов рассматривается только в глубь почвы, хотя существует и обратный процесс. Например, цезий, растворенный в воде, перемещается вместе с ней по капиллярам. Во-вторых, скорость осаждения радионуклида на поверхность почвы должна быть строго определена (что не всегда возможно). В нашей модели считалось, что Cs-137 выпал на поверхность почвы одномоментно. В-третьих, для получения корректных с математической точки зрения решений коэффициенты переноса в последних двух горизонтах должны быть одинаковыми. В лесных почвах такими могут быть только В-горизонты, начиная с глубины более 10 см.

Далее на рисунке 2 приведены профили распределения Cs-137 в лесных почвах, которые получены в октябре 1994 года и описывают объемную активность радионуклида в почвенных горизонтах, выраженную во внесистемных единицах Бк/(м²·см) [2].

Данные, полученные при оценке скорости миграции сведены в таблицу.



Профиль 1



Профиль 2

Рисунок 2 – распределение Cs-137 в почвенных горизонтах

Таблица – скорости миграции Cs-137 в почвенных горизонтах (см/год)

		L	Of	Oh	Ah	B ₁	B
Профиль 1	Толщина слоя, см	2	1,5	1,5	2	1,5	2
	Скорость миграции	2,61	0,91	0,42	0,36	0,23	0,19
Профиль 2	Толщина слоя, см	2	1,5	1,5	2	1,5	2
	Скорость миграции	4,82	0,78	0,45	0,37	0,18	0,08

В результате проведенных расчетов установлено, что скорость миграции радионуклидов является наибольшей в верхних слоях почвы, затем в почвенных горизонтах, содержащих преимущественно минеральные компоненты скорость существенно уменьшается.

Для прогнозирования кинетики изменения радиационного состояния территорий, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, важно установить характер и механизмы миграции радионуклидов в различных типах почв.

Поскольку поведение радионуклидов существенным образом зависит от форм их выпадения и физико-химических характеристик почвы, возникает потребность исследовать механизмы миграции и, по возможности, прогнозировать временной характер этих процессов. Такой параметр как тип почвы (например, чернозем, дерново-подзолистая, глеевая и т. п.) может быть учтен лишь в так называемых экспертных системах (см. рисунок 3) [4].

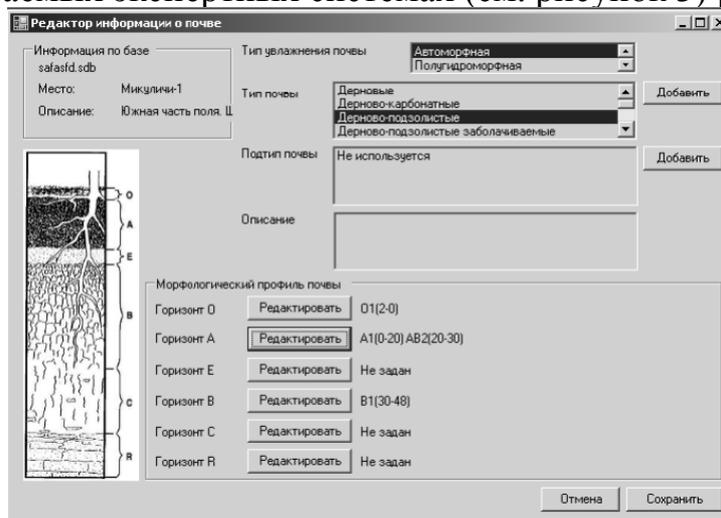


Рисунок 3 – пример экспертной системы для почв

Список литературы

1. Кундас, С. П. Математическая модель миграции радионуклидов в почве / С. П. Кундас, Н. Н. Гринчик, И. А. Гишкелюк // Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. – 2005. – № 3. – С. 56–60.
2. Bürmann, W. Migration of cesium radionuclides in the soil of spruce forest / W.°Bürmann [et al.] // The Fourt Int. Conf. on the Chemistry and migration Behaviour of the Actinides and Fission Product in the Geosphere, USA, December 12–17 1993, Charleston. – P. 122–129.
3. Кушнер, Т. Л. Изучение моделей миграции радионуклидов в курсе «Сельскохозяйственная радиология» / Т. Л. Кушнер // Вестник БрГТУ. – 2004. – № 5 (29) : Физика, математика, химия. – С. 61–67.
4. Кундас, С. П. Архитектура гибридных экспертных систем для прогнози-рования миграции радионуклидов в почве / С. П. Кундас, В. И. Коваленко, И.°А. Гишкелюк // Инженерный вестник. – 2006. – № 1 (21). – С. 206–209.

УДК 539.2:621.3.049.77

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОПРОВОЛОКИ GaAs В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ COMSOL MULTIPHYSICS

А.С. Чугунов, А.В. Матиевская

Брестский государственный технический университет, Брест

Научный руководитель: С.В. Чугунов

Мультифизический интерфейс уравнения Шредингера-Пуассона моделирует системы с квантово-ограниченными носителями заряда, такими как квантовые ямы, провода и точки. В данной работе мы исследуем эталонную модель нанопроволоки GaAs, реализованную в модуле Semiconductor Module программного продукта COMSOL Multiphysics.

Мультифизический интерфейс уравнения Шредингера-Пуассона, доступный в COMSOL Multiphysics, создает двунаправленную связь между интерфейсом электростатики и уравнением Шредингера для моделирования носителей заряда в квантово-ограниченных системах. Электрический потенциал от электростатики вносит вклад в член потенциальной энергии в уравнении Шредингера. Статистически взвешенная сумма плотностей вероятностей из собственных состояний уравнения Шредингера вносит вклад в плотность пространственного заряда в электростатике.

Система Шредингера-Пуассона является особенной в том, что стационарное исследование необходимо для электростатики, а исследование собственных значений необходимо для уравнения Шредингера. Для решения двусторонней связанной системы уравнение Шредингера и уравнение Пуассона решаются итеративно до тех пор, пока не будет получено самосогласованное решение. Итерационная процедура состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Чтобы обеспечить хорошее начальное условие для итераций, мы решаем уравнение Пуассона

$$-\nabla(\varepsilon\nabla V) = \rho, \quad (1)$$

для электрического потенциала V , в котором ε – диэлектрическая проницаемость, ρ – плотность объемного заряда.

На этом этапе инициализации ρ дается наилучшая начальная оценка, основанная на физических аргументах; например, используя приближение Томаса-Ферми.