

```
21 Text1.Text = out_str$  
22 End Sub
```

В качестве примера теста можно выбрать следующий вопрос с вариантами ответов, полученными по описанной методике.

```
Как будет вести себя программа ud_prob, если строка 17 в  
виде  
17 If Mid$(Text1.Text, i, 1) = " " And pr_prob = 0 Then  
и на вход подана строка  
aaaa sssss dddd fffff
```

```
Не будет работать  
Будет работать по-прежнему  
Выведет сообщение об ошибке  
Выведет aaaaa  
Выведет aaaa sssss
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря мультиагентной среде имеется возможность взаимодействия с разнородными приложениями. В качестве одной из основных систем для обмена данными выделена библиотечная система. Возможно одновременное выполнение и обмен информацией с приложениями смежного назначения. В качестве библиотечной системы может быть использована любая из стандартных систем автоматизации библиотеки.

Приведенная методика и описанный инструмент разработки правил позволяет достаточно быстро создавать тесты по различным дисциплинам.

Методика разработки обучающих и контролирующих курсов в данной системе использована для разработки тестов

УДК 631.4:539.1

Кушнер Т.Л.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В КУРСЕ «СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ РАДИОЛОГИЯ»

Моделирование процессов миграции радионуклидов в почвах рассматривается в курсе «Сельскохозяйственная радиология». Цели и задачи данного рассмотрения следующие: внедрить в процесс обучения результаты научных исследований, поскольку в учебных пособиях подобная информация отсутствует; дать возможность студентам, владеющим информационными технологиями, использовать математические ресурсы при написании компьютерных программ; помочь студентам более глубоко изучить теоретический материал, предлагаемый на лекциях и активизировать их научно-исследовательскую деятельность.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС имеется несколько регионов в Республике Беларусь, загрязненных долгоживущими радионуклидами. Изотопы цезия вносят наибольший вклад в дозу внешнего облучения человека, проживающего на загрязненной территории, и участвуют также в процессах переноса по «пищевым цепочкам». Этот естественный перенос особенно высок в лесных регионах и на территориях, в которых верхний слой почвы состоит в основном из органических образований (например, болотистые почвы, торфяники, пойменные луга и пастбища). В данных видах почв цезий не имел первоначального соединения с глиноземными минеральными частицами, следовательно, его содержание в органической субстанции должно быть наибольшим [1]. Выше перечисленные земли используются в растениеводстве,

и проведения тестирования студентов экономических специальностей по дисциплинам информатики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Буза М.К., Дубков В.П., Зимянин Л.Ф. Концептуально-логическая схема совершенствования курсов по информатике // В сб. тр. Межд. конф. Сетевые компьютерные технологии. 25-29.10.2000. с.142-153.
2. Степанов Д.Ю. Технология разработки компьютерных курсов по математическим дисциплинам в инструментальной CASE-системе СФИНКС // Информационные технологии. 2001. N 5. с.42-51.
3. Змитрович А.И., Меуер А. О дистанционном обучении // В сборнике тр. Межд. конф. Сетевые компьютерные технологии. 25-29.10.2000. с. 161-165.
4. Пантелеев Е.Р., Ковшова И.А., Малков И.В., Пекунов В.В., Первовский М.А., Юдельсон М.В. Среда разработки программ дистанционного обучения ГИПЕРТЕСТ: инструментальные средства // Информационные технологии. 2001. N 8. с.34-40.
5. Пантелеев Е.Р. Среда разработки программ дистанционного обучения ГИПЕРТЕСТ: логическая модель и архитектура // Информационные технологии. 2001. N 5. с.30-36.
6. Певзнер Л.В. Гипертекстовая структура компьютерного учебника по информатике. // В сборнике тр. Межд. конф. Сетевые компьютерные технологии. 25-29.10.2000. с. 154-157.
7. Matthew M. Hantbach, Graem A. Ringwood. Agent oriented programming: from prolog to guarded definite clauses. Springer, Berlin. 1999.

животноводстве, при заготовке кормов и расположены по всей территории Беларуси.

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. 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 [2].

Наиболее эффективным методом исследования распределения радионуклида в почве является определение удельной активности проб грунта, взятых с различной глубины. Каждая проба представляет собой пласт определенной толщины. Количество пластов может варьироваться в зависимости от поставленной задачи и возможностей ее решения. В однородных по своему составу почвах (например, в пахотных землях) толщина пластов одинакова и составляет примерно 2-3 см.

Кушнер Татьяна Леонидовна, ст. преподаватель кафедры физики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

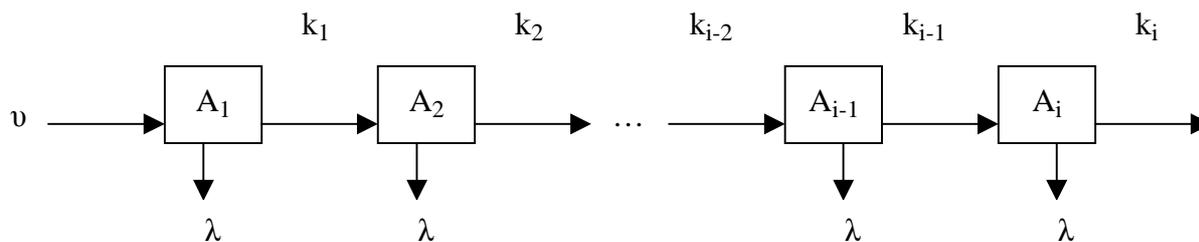


Рис. 1. Модель миграции радионуклидов «Черный ящик».

Таким образом, взяв слой почвы в 20 см, можно получить 7-10 проб. В лесных почвах имеется ярко выраженная неоднородность. Поэтому удобнее вести послойное взятие проб с неравной толщиной. При этом границы между слоями (горизонтами) будут выражены достаточно четко. На основе измеренной удельной активности образцов почвы по Cs, отобранных с малым шагом, можно построить профили вертикального распределения радионуклида по глубине и смоделировать процесс его миграции [3].

Целью данной работы является сравнительная характеристика математических моделей, описывающих процессы миграции радионуклидов. Самостоятельные расчеты студенты могут произвести, используя различные программные продукты (например, «Excel», «Mathematica» и т.д.)

Первой рассмотрим «Модель черного ящика» [4]. 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.

Блок-схема, описывающая данную модель, представлена на рисунке 1.

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

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

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:

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

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

При обсуждении студенты отметили, что, наряду с выше изложенными преимуществами, у данной модели есть определенные недостатки. Во-первых, перенос радионуклидов рассматривается только в глубину 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). Факты измерений, которые дали бы зависимость осаждения Cs-137 как функцию времени есть. В Германии, например, в апреле-мае 1986 года измеряли активность дождевых осадков, выпавших на единицу площади в лесах Баварии под Мюнхеном [5]. Студенты справедливо заметили, что данные исследований в Германии нельзя использовать автоматически в Республике Беларусь, так как природные и метеорологические процессы, влияющие на скорость осаждения радионуклидов, в каждой отдельной местности происходят по-разному. 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 10-15 см.

Для сравнения рассмотрим другой подход к моделированию миграции радионуклидов – диффузионно-сорбционную модель. Согласно данной модели миграция радионуклидов по вертикальному профилю почвы может обуславливаться многими факторами. Определяющие из них:

- диффузия свободных ионов в почвенном растворе;
- диффузия частиц почвы, на которых сорбирован радионуклид;
- конвекционный перенос вещества [6].

В случае только диффузионного переноса вещества изменение активности A почвы с глубиной z описывается гауссовой функцией, а зависимость $\ln A$ от глубины z определяется формулой:

$$\ln A = \ln \frac{C}{\sqrt{\pi D t}} - \frac{z^2}{4 D t}, \quad (7)$$

где D – коэффициент диффузии радионуклида в почве; t – время, отсчитываемое с момента аварии на ЧАЭС; C – постоянная, определяющая активность выпавшего радионуклида.

Если почву представить состоящей из двух фаз [7]: почвенный раствор и твердая фаза, то можно полагать, что в почвенном растворе происходят процессы диффузии и конвекционного переноса радионуклида, а твердая фаза сорбирует его необратимо. Тогда процесс вертикальной миграции будет описываться уравнением:

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C_1}{\partial z^2} - \alpha \cdot \frac{\partial C_1}{\partial z} - \beta \cdot C_1, \quad (8)$$

где C_1 – концентрация радионуклида в почвенном растворе на глубине z ; D – эффективный коэффициент диффузии;

α – скорость конвекционного переноса радионуклида;
 β – скорость сорбции радионуклида в твердой фазе. Скорость конвекции α будет соответственно положительной или отрицательной в зависимости от направления потока в глубь почвы или к поверхности.

Дополнительно к (8) необходимо записать уравнение баланса, имеющего место при переносе и сорбции вещества из почвенного раствора к твердой фазе:

$$v_2 \cdot \frac{\partial C_2}{\partial t} = \beta \cdot C_1 \cdot v_1, \quad (9)$$

где C_2 – концентрация радионуклида в твердой фазе в момент времени t на глубине z ; v_1 и v_2 – обменные доли жидкой и твердой фаз, зависящие от глубины.

Суммарная удельная активность почвы описывается тогда следующим образом:

$$A = (C_1 v_1 + C_2 v_2) / \rho, \quad (10)$$

где ρ – средняя плотность почвы.

Решения уравнений (8) и (9) находятся при начальных и граничных условиях:

$$D \cdot \frac{\partial C_1}{\partial z} \Big|_{z=0} - \alpha \cdot C_1 \Big|_{z=0} = 0, \quad (11)$$

$$C_1(z, 0) = C \delta(z, 0), \quad (12)$$

$$C_1(z, t) \Big|_{z \rightarrow 0} = 0, \quad (13)$$

где C – количество радиоактивных атомов, выпавших на единицу площади, в момент аварии; $\delta(z, 0)$ – дельта-функция.

Решение уравнения (8) примет вид:

$$C_1(z, t) = C \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi D \cdot t}} \exp \left[-\beta \cdot t - \frac{(z - \alpha \cdot t)^2}{4D \cdot t} \right] - \frac{\alpha}{2D} \exp \left(-\beta \cdot t + \frac{\alpha \cdot z}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{D \cdot t}} + \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{t}{D}} \right) \right\} \quad (14)$$

Из (9) следует, что

$$C_2(z, t) = \beta \frac{v_1}{v_2} \int_0^t C_1(z, t) dt. \quad (15)$$

Подставив (14), (15) в (10) получаем выражение для удельной активности почвы:

$$A(z, t) = A_0 \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi D \cdot t}} \exp \left[-\beta \cdot t - \frac{(z - \alpha \cdot t)^2}{4D \cdot t} \right] - \frac{\alpha}{2D} \exp \left(-\beta \cdot t + \frac{\alpha \cdot z}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{D \cdot t}} + \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{t}{D}} \right) \right\} +$$

УДК 574

Халецкий В.А.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММ ПО ХИМИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ НЕХИМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ

Высокий уровень развития химической науки в значительной степени является основой материальной культуры

$$+ A_0 \beta \cdot \int_0^t \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi D \cdot t}} \exp \left[-\beta \cdot t - \frac{(z - \alpha \cdot t)^2}{4D \cdot t} \right] - \frac{\alpha}{2D} \exp \left(-\beta \cdot t + \frac{\alpha \cdot z}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2\sqrt{D \cdot t}} + \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{t}{D}} \right) \right\} dt, \quad (16)$$

где $A_0 = C \cdot v_1 \cdot e^{-\lambda t} / \rho$, λ – постоянная радиоактивного распада рассматриваемого изотопа.

Сравнивая две модели, можно утверждать, что вторая намного сложнее, чем первая. Но студентам, имеющим достаточные навыки в работе с программными продуктами, расчеты большого труда не составят. Если в первой модели можно рассчитать только коэффициенты переноса k_i и по ним оценить скорость миграции радионуклидов в каждом слое, то из второй рассматриваемой модели можно извлечь намного более полную информацию о процессах миграции. Нужно отметить, что курс «Сельскохозяйственная радиология» читается в том же семестре, что и «Почвоведение». К моменту изучения моделей миграции студентам уже были знакомы понятия «адсорбция», «десорбция», «почвенный раствор», следовательно, давать определения этим терминам не было необходимости. Таким образом, студенты получают определенный багаж знаний, которые сопрягаются в двух дисциплинах. Вторая модель оказалась для них более понятной с точки зрения рассматриваемых процессов. Многие отметили, что вертикальный перенос Cs-137 в целинных почвах можно адекватно описать в рамках модели, учитывающей процессы диффузии и конвекции радионуклида в почвенном растворе, а также его сорбции твердой фазой почвы.

Не вызывает никаких сомнений, что полученные сведения о моделях миграции радионуклидов в почве помогут студентам позже при изучении специальных дисциплин на кафедре сельскохозяйственных и гидротехнических мелиораций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коноплев А.В., Борзилов В.А., Бобовникова Ц.И. и др. // Метеорология и гидрология. – 1988. – №12. – С. 63-74.
2. Буравлев Е.П., Лебединский М.Н., Дрич С.К. и др. // Агротехника. – 1991. – №6. – С. 70-73.
3. Прохоров В.М. // Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. – М.: Агропромиздат, 1981. – 160 с.
4. Frissel M.J., Penners R. Models for the accumulation and migration of Sr-90, Cs-137, Pu-239, Pu-240 and Am-241 in the upper layers of soils // Ecological Aspects of Radionuclide Release. Backwell Sci. Publ. Oxford. – 1983. – P. 63-72.
5. Bunzl K., Schimmack., Kreutzer K., Schierl R. Die Ausbreitung von Fallout Cs-134, Cs-137 und Ru-106 aus Tschernobyl // Z. Pflanz. Bodenk. – 1989. – №152. – P. 39-44.
6. Олехнович Н.М., Маковецкий Г.И., Галяс А.И. и др. // ИФЖ. 1995. – Т. 68, №1. – С. 33-38.
7. Фрид Ф.С., Граковский В.Г. // Почвоведение. – 1988. – №2. – С.78-86.

Халецкий Виталий Анатольевич, доцент каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.