

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МИГРАЦИИ ^{137}Cs В ЛУГОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ ПОЙМЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Мамихин С.В.

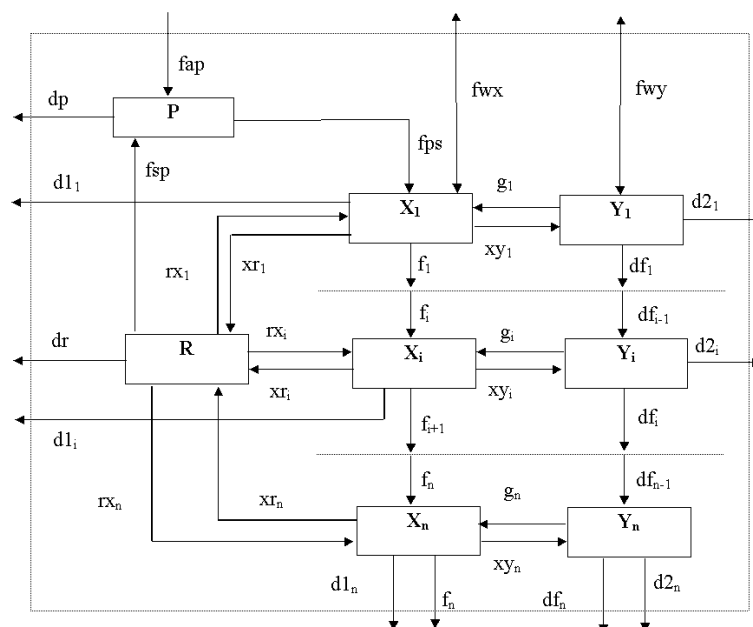
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, г. Москва

svmamikhin@mail.ru

Разработана имитационная модель поведения ^{137}Cs в луговых биогеоценозах, подвергающихся периодическому затоплению. Модель позволяет учитывать паводковую и климатическую ситуацию, условия задаются жестко по имеющимся данным или с подключением стохастических элементов. По предварительным результатам численных экспериментов показана определяющая роль высвобождения ^{137}Cs из верхнего слоя почвы, в котором радионуклид долго удерживается в составе дернины и частиц выпадения, и нисходящей миграции подвижных форм для формирования его профильного распределения.

Поведение радионуклидов в ландшафтах различной степени гидроморфности существенно отличается, особенно если включить в рассмотрение пойменные системы, подвергающиеся периодическому затоплению в период весенних половодий или затяжных и обильных дождей. В связи с этим, разработка имитационных моделей динамики радионуклидов в растительном и почвенном покрове ландшафтов с различным гидрологическим режимом может помочь исследователю с анализом и интерпретацией данных, полученных в ходе радиоэкологических исследований, провести численные эксперименты по изучению поведения радионуклидов и осуществить прогнозирование развития ситуации.

На основе более ранних разработок [1] предлагается алгоритм имитационной модели поведения ^{137}Cs в пойменных почвах луговых биогеоценозов. На рис. 1 представлена потоковая диаграмма, отражающая топологическую структуру модели, где блоки соответствуют содержанию ^{137}Cs в данном компоненте, а стрелками обозначены пути его



поступления и дальнейшей миграции. Модель точная, размерность переменных состояния - кБк/м².

Рис. 1. Потоковая диаграмма вертикальной миграции ^{137}Cs в почве.

В модели используются следующие переменные состояния, с шагом в 1 сутки отражающие динамику содержания ^{137}Cs в рассматриваемых компонентах экосистемы:

P - содержание ^{137}Cs в надземной фитомассе;
X(i) - подвижная компонента ^{137}Cs в нижележащей толще почвы,
Y(i) - неподвижная компонента ^{137}Cs , где $i = 1, \dots, n$ - номер 3-х сантиметрового слоя почвы.

Под неподвижной формой содержания ^{137}Cs подразумевалась такая форма, когда мигрант закреплен в корневых системах растений и в почвенно-поглощающем комплексе в результате корневого поглощения адсорбции, ионного обмена и осаждения в составе органических и органо-минеральных комплексов или илистых частиц, задержанных почвой при лессиваже. Все остальное считается подвижной формой.

Также в качестве переменной состояния введен фиктивный компонент - распределительный пул R, отражающий перераспределение ^{137}Cs в почве корневой системой растений и гифами грибов. Принято, что сумма потоков, поступающих в пул, равна сумме потоков, выходящих из него.

Функции переноса:

fap - поступление ^{137}Cs из атмосферы на надземную фитомассу в составе радиоактивных выпадений;

fwx и *fwy* – поступление или вымывание ^{137}Cs из верхнего слоя во время паводка;

fsp - поступление ^{137}Cs в надземную фитомассу из почвы;

fps - поступление ^{137}Cs в почву в составе радиоактивных выпадений и с опадом;

fI - выведение ^{137}Cs из верхнего слоя почвы в результате минерализации растительных остатков, при выщелачивании из радиоактивных частиц и конвективного переноса и лессиважа;

fi - нисходящая миграция ^{137}Cs в результате конвективного переноса и лессиважа;

dfi - миграция ^{137}Cs в результате диффузии;

xvi - закрепление подвижной компоненты в *i*-ом слое почвы в результате адсорбции, ионного обмена, осаждения в составе органических и органо-минеральных комплексов;

gi - переход неподвижной компоненты в подвижное состояние в результате десорбции, ионного обмена и др.;

xri - поглощение радионуклида корневой системой растений и гифами грибов;

rxl - высвобождение ^{137}Cs корнями и грибами путем прижизненных выделений и при отмирании;

di - радиоактивный распад ^{137}Cs в *i* – том компоненте.

При расчете функций переноса используются вспомогательные переменные, так, например, переход неподвижной компоненты в подвижное состояние в результате десорбции, ионного обмена и др. рассчитывается следующим образом: $gi = ab * sig(i) * Yi$, где *sig* - вспомогательная переменная, которая отражает сигмоидальный характер кривой зависимости емкости поглощения почвы в данном слое от глубины его залегания (*i*) и толщины гумусированного слоя почвы (*hc*), которая задана следующей формулой:

$$sig(i) = (i - 1)2 / (((hc - 1) * 0.5 - 1)2 - 1) + (i - 1)2).$$

Вспомогательные переменные позволяют учитывать паводковую и климатическую ситуацию, с их помощью условия расчетов задаются жестко по имеющимся данным или подключаются стохастические элементы с использованием рандомизации.

Имитационная модель реализована на Бэйсике в кроссплатформенной среде программирования Qb64. Организована выдача результатов моделирования как в текстово-цифровом, так и в графическом виде.

Модель позволяет воспроизводить различные ситуации, связанные с затоплением пойменных ландшафтов (Рис. 2), и используется для проведения численных экспериментов по их изучению. Предварительные результаты показали определяющую роль высвобождения ^{137}Cs из верхнего слоя почвы, в котором радионуклид долго удерживается в составе дернины и частиц выпадения, и нисходящей миграции подвижных форм для формирования его профильного распределения.

В дальнейшем предполагается интегрировать ее как субмодуль в 3-D модель пространственного распределения радионуклидов в почве [2] для более адекватного отображения миграционных процессов.

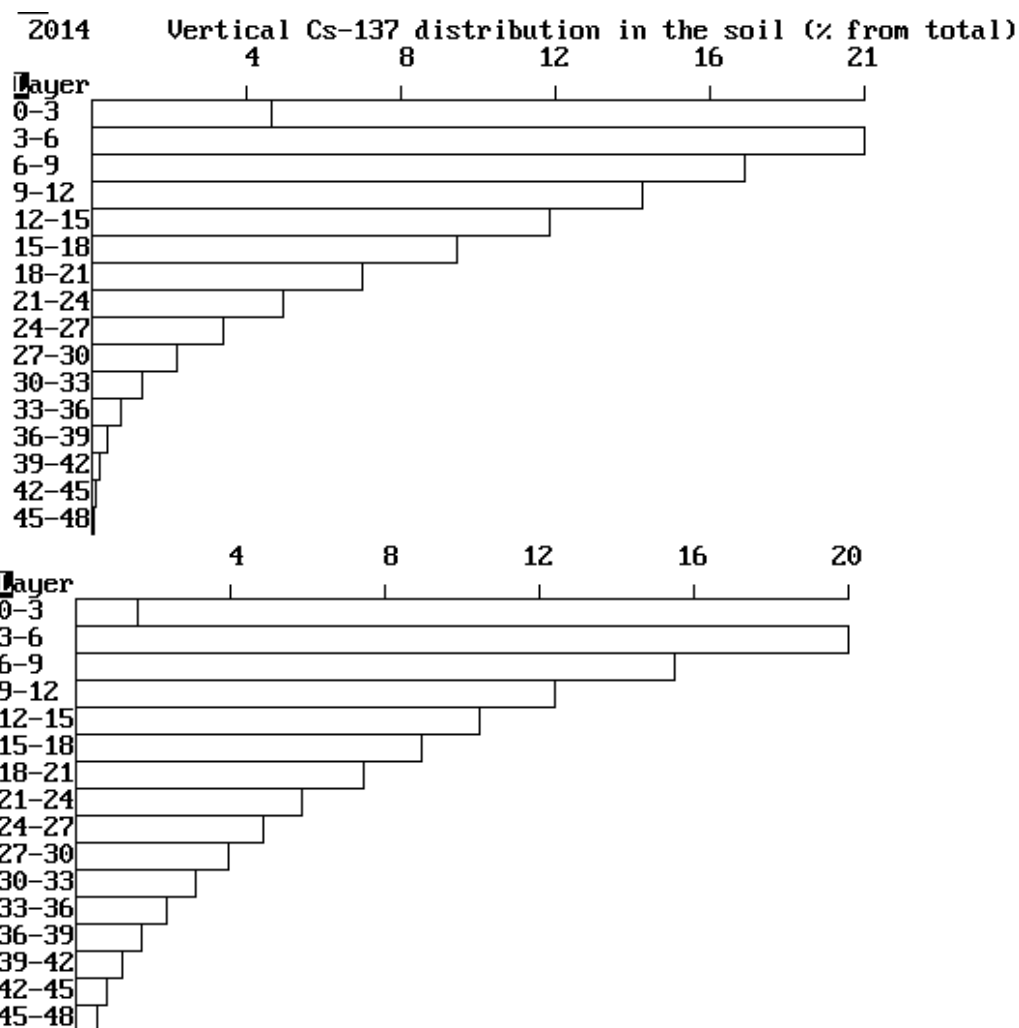


Рис. 2. Распределение ^{137}Cs в гидроморфной почве через 28 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. В верхней части рисунка воспроизводится распределение ^{137}Cs по профилю почвы в отсутствие затопления, а в нижней – при ежегодном затоплении.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-05-92105).

Литература

1. Мамихин С.В. Динамика углерода органического вещества и радионуклидов в наземных экосистемах (имитационное моделирование и применение информационных технологий). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003.
2. Мамихин С.В., Бадави В.М. Имитационная модель трехмерной миграции ^{137}Cs в почвах // Вестн. Моск. ун-та, Сер. почв., 2011, N 4, с. 32 – 36.