

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФУЗИОННОЙ И КОНВЕКТИВНО-ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ МИГРАЦИИ В ПОЧВУ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ

Фрид А.С.¹, Борисочкина Т.И.¹

¹ФГБУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия
asfrid@mail.ru

Аннотация: по данным полевых наблюдений показано, что многолетняя миграция тяжелых металлов вглубь различных почв при разных источниках загрязнения в пределах точности измерения может быть описана малопараметрическими уравнениями диффузии и/или конвективной диффузии, предполагая во многих случаях параметры миграции постоянными по глубине почвы и по времени миграции.

В данной работе речь идет о полевых условиях и, в основном, о многолетних сроках загрязнения, когда можно считать быстрые обратимые процессы усредненными. Задачи работы: 1) установить возможность описания вертикальной миграции тяжелых металлов в почвах с помощью малопараметрических миграционных моделей (решение обратной задачи); 2) проанализировать связь параметров моделей миграции с характеристиками почв и элементов.

Методические проблемы: 1) найти места с длительным датированным загрязнением, где возможные нарушения почв известны, или соответствующие литературные данные; 2) провести отбор почвенных проб с малым шагом по глубине с использованием монолитов; желательны несколько сроков отбора с большим промежутком времени, что значительно повышает надежность перспективного и ретроспективного прогнозов (это бывает исключительно редко); 3) определить правдоподобные начальные и граничные условия.

В нашем подходе почвенная среда во многих случаях условно принимается однородной по миграционным параметрам в пространстве и времени, что позволяет использовать точные решения миграционных уравнений. Учитывая реальную точность измеряемых концентраций в почве, пока такой подход оправдывался. Для оценки параметров использовали данные по валовым содержаниям элементов, и параметры миграции соответственно относились к почве в целом.

Нам удалось проанализировать несколько ситуаций загрязнения почв: ненарушенные почвы в зоне воздействия Череповецкого металлургического комбината через 23 и 53 года после начала его работы (Фрид, Борисочкина, 2011); ненарушенные почвы Якутии с пылевым загрязнением от отвалов, содержащих естественные радионуклиды через 40 лет после начала загрязнения (Собакин, Молчанова, 1998; Собакин, 2015); пахотные почвы в зоне воздействия металлургического комплекса в северной Франции через 99 лет после начала его работы (Labanowski et al., 2008); пахотные почвы Египта, орошаемые природными (40-50 лет) или городскими сточными водами (20 лет) (Фрид и др., 2011); ненарушенная почва в Испании через 2 месяца после загрязнения с поверхности пиритными хвостами (Dorronsoro et al., 2002). Сводка полученных нами значений коэффициентов диффузии (D) и конвективной диффузии (D_k) представлена в таблице, из которой видно, что в большинстве случаев значения $D(D_k)$ были порядка 10^{-8} см²/с, но в египетских почвах он на два порядка больше, что мы объясняем заметной засоленностью этих почв и оросительных вод. Для выявления других связей свойств почв или форм нахождения элементов в почвах с миграционной подвижностью пока мы имеем недостаточно данных.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 14-04-01893 и гранта Президиума РАН 2015 г.

Таблица – Ранжирование элементов по значениям $D(D_k)$ в различных почвенно-экологических условиях

Объект	Ряды элементов, max и min значения $D(D_k)$, $см^2/с$
Череповец	$Zn > Pb$, max = $(3.5-3.7) \cdot 10^{-8}$, min = $(0.8-1.8) \cdot 10^{-8}$
Якутия	$Th > Ra \geq U$, max = $(6.7-6.9) \cdot 10^{-8}$, min = $1.1 \cdot 10^{-8}$
Франция	$Zn \geq Cd$, max = $4.8 \cdot 10^{-8}$, min = $(3.3-4.5) \cdot 10^{-8}$
Египет	Орошение природными водами $(Cu, Mn) > (Fe, Co, Ni, Pb) > (Zn, Cd)$, max = $(0.9-3.9) \cdot 10^{-6}$, min = $(0.3-0.5) \cdot 10^{-6}$ Орошение городскими сточными водами $Cd > (Fe, Co, Ni, Mn, Pb, Cu) \geq Zn$, max = $(7-46) \cdot 10^{-6}$, min = $(1.6-2.2) \cdot 10^{-6}$
Испания	$(Tl, Cd, Y) > (Pb, Ni, Be) > (Fe, Mn) > (In, Bi, Co) > (As, U) > (Sb, Zn, Cu)$, max = $(2-4) \cdot 10^{-8}$, min = $(0.13-0.34) \cdot 10^{-8}$

Литература

- Собакин П.И., Молчанова И.В. Миграция тяжелых естественных радионуклидов в почвенно-растительном покрове в условиях техногенного загрязнения // Экология. 1998. № 2. С.98-101.
- Собакин П.И. Естественные и искусственные радионуклиды в мерзлотных почвах Якутии. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Улан-Удэ: Ин-т общей и экспериментальной биологии Сиб. Отдел. РАН, 2015. 39 с.
- Фрид А.С., Борисочкина Т.И. Использование миграционных моделей при исследовании передвижения тяжелых металлов в загрязненных почвах // Проблемы техногенного воздействия на сферу агропромышленного производства: теория и практика: Сборник трудов совещания. Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2011. С.100-105.
- Фрид А.С., Гома Ботхина Саад М.А., Борисочкина Т.И. Миграция тяжелых металлов в аридных почвах Египта, орошаемых природными и городскими сточными водами (подведение итогов) // Агрехимия. 2016. № 11. С.46-57.
- Dorronsoro C., Martin F., Ortiz I., Garcia I., Simón M., Fernández E., Aguilar J., Fernández J. Migration of trace elements from pyrite tailings in carbonate soils // J. Environ. Qual. 2002. V. 31. P. 829-835.
- Labanowski J., Monna F., Bermond A., Cambier Ph., Fernandez C., Lamy I., van Oort F. Kinetic extractions to assess mobilization of Zn, Pb, Cu, and Cd in a metal-contaminated soil: EDTA vs. citrate // Environ. Pollut. 2008. V. 152. P. 693-701.