

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТЕРРИТОРИИ В РАЙОНЕ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

К.М. Ефимов, Е.А. Ясько

Институт эколого-технологических проблем, г. Москва



Создание математических моделей распространения загрязнений под действием естественных процессов в почве затрудняется из-за сложности представления почвы как среды миграции вследствие существующей неоднородности ее физико-химических свойств и недостаточной изученностью механизмов. В работе построена сравнительно несложная математическая модель описания как процессов образования дождевого стока на водосборе, так и процесса переноса загрязняющих веществ сформированным стоком. Построенная модель удобна для практического применения. Проведены численные расчеты для бассейна р. Коваши (район Ленинградской АЭС).

Выбросы АЭС могут содержать радионуклиды глобального распространения: ^3H , ^{14}C , ^{89}Kr , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{134}Cs , ^{238}Pu , ^{238}Am и др. Радионуклиды с периодами полураспада в несколько месяцев или десятков дней относятся к группе преимущественно регионального распространения. Эта группа нуклидов включает большинство радионуклидов ксенона и криптона: $^{132-136}\text{I}$, ^{89}Sr , $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$, ^{106}Ru , ^{110}Ag , ^{239}Np , а также группу активированных продуктов коррозии: ^{51}Cr , ^{54}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co . К группе преимущественно местного рассеивания относится в основном ^{131}I .

В соответствии с действующими нормами нормируются выбросы четырех групп радионуклидов: радиоактивные благородные газы (РБГ), смеси долгоживущих нуклидов (ДЖН) с периодами полураспада, превышающими одни сутки (ДЖН, ^{131}I) и смеси ^{89}Sr и ^{90}Sr .

При возможных аварийных ситуациях чаще всего неизвестен количественный состав выброса и физико-химические свойства газоаэрозоля.

Осаждаясь на земную поверхность, радионуклиды начинают распространяться под действием естественных процессов, протекающих в природе. Процессы, влияющие на распределение радионуклидов в почве, разнообразны по своей природе и степени воздействия. К ним относятся: фильтрация атмосферных осадков и талых вод, капиллярный подток почвенной влаги к поверхности под действием градиента температур, движение воды по поверхности почвы, диффузия растворенных и адсорбированных ионов радионуклидов, перенос на мигрирующих коллоидных частицах по корневым системам и др. [1,2]. Основными процессами распространения радионуклидов являются конвективный перенос с фильтрующейся водой и диффузия в движущихся по почвенным порам струям.

Существующее в настоящее время множество экспериментальных данных о загрязнении почв предприятиями ядерного цикла (ЯЦ) трудно использовать для оценки радиационной ситуации и прогноза ее возможных изменений из-за несогласованности научных программ и неполноты сведений в пределах натурных и экспериментальных исследований. Учитывая сложность радиоэкологических исследований, все большее внимание начинают уделять развитию математических методов прогнозирования влияния предприятий ЯЦ на внешнюю среду. Одним из наиболее перспективных методов является метод математического моделирования физических процессов, происходящих в биосфере. Создание математических моделей перемещения загрязнений под действием естественных процессов в почве затрудняется сложностью представления почвы как среды миграции вследствие существующей неоднородности ее физико-химических свойств и недостаточной изученностью механизмов миграции.

При составлении математической модели предполагается, что основными процессами, влияющими на перемещение радионуклидов в почвах, являются:

- перенос внутрипочвенным стоком;
- конвективная диффузия;
- равновесная сорбция с линейной изотермой.

Почва рассматривается как кусочно-однородная, изотермическая, недеформируемая среда, в которой отсутствуют тупиковые поры. Предполагается, что атмосферные осадки частично стекают по поверхности водосбора, частично просачиваются в глубь почвы и стекают по временным водоупорам. Будем рассматривать такую слоистую структуру почвы, при которой профиль временных водоупоров повторяет профиль поверхности водосбора. Выпадение осадков будем считать равномерным по всей территории, изменяющимся по времени. Предположим также, что при образовании внутрипочвенного стока мгновенно устанавливается равновесный массообмен между фильтрующей водой и почвой. Тогда для описания процессов миграции радионуклидов в поверхностном слое почвы можно использовать уравнения:

- Навье-Стокса (для описания поверхностного стока);
- уравнение Дарси (для внутрипочвенного стока);
- уравнение конвективной диффузии (для массообмена).

Будем считать эти три процесса независимыми.

Принимая, что интенсивность испарения невелика по сравнению с интенсивностью инфильтрации и интенсивностью осадков, запишем уравнение Навье-Стокса в виде двумерной кинематической волны [3]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = R - 1,$$

$$q_x = Sh^{3/2} \frac{i_x}{\sqrt{i_x^2 + i_y^2}},$$

$$q_y = Sh^{3/2} \frac{i_y}{\sqrt{i_x^2 + i_y^2}},$$

где h - свободная поверхность воды, стекающей по водосбору; q_x , q_y - расходы поверхностного стока вдоль осей x , y соответственно; R - интенсивность осадков; I - интенсивность инфильтрации; S - коэффициент Шези; i_x , i_y - уклоны дневной поверхности водосбора вдоль осей x , y ; t - время.

Будем считать, что отфильтрованная вода движется в зоне по временному водоупору $z_0 = h_0(x, y)$, причем скорости течения не зависят от вертикальной координаты z , и инфильтрация через временной водоупор не существенна. Тогда уравнение Дарси запишется в следующем виде [4]:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left[K_{\Theta} (h - h_0) \frac{\partial h}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{\Theta} (h - h_0) \frac{\partial h}{\partial y} \right] = I,$$

где μ - удельная водоотдача почвы; h - свободная поверхность внутрипочвенного потока; K_{Θ} - коэффициент гидравлической проводимости; h_0 - уравнение поверхности временного водоупора; I - интенсивность инфильтрации; t - время.

Гидравлическая проводимость определяется эмпирическим соотношением (формула Аверьянова-Будаковского):

$$K_{\Theta} = K_H \left(\frac{\Theta - \Theta_{\min}}{\Theta_{\max} - \Theta_{\min}} \right)^{3.5},$$

где Θ - влажность почвы; Θ_{\min} - влажность увядания; Θ_{\max} - влажность насыщенной почвы; K_H - коэффициент фильтрации; $n = 3.5$.

Связь между скоростями и напором определяется уравнениями фильтрации Дарси:

$$U = K_F \frac{\partial h}{\partial x},$$

$$V = -K_F \frac{\partial h}{\partial y},$$

где U, V - скорости внутрипочвенного стока вдоль осей x, y ; K_F - коэффициент фильтрации.

В данном случае предполагается, что параметры математической модели кусочно-постоянны, т.е. являются постоянными для каждого типа почв. Основой для математической модели распространения загрязнений служит уравнение массопереноса:

$$m(1+G) \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[(D_M + \lambda U) \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(D_M + \lambda V) \frac{\partial C}{\partial y} \right] - \frac{\partial}{\partial x} (CU) - \frac{\partial}{\partial y} (CV),$$

где m - коэффициент пористости; G - коэффициент Генри, обуславливающий сорбционные характеристики процесса; D_M - молекулярная диффузия мигрирующего иона; λ - параметр дисперсии, определяющий характер сложения почвы; U, V - скорости течения фильтрующейся жидкости в направлении осей x, y соответственно; C - концентрация загрязняющего вещества; t - время.

Система уравнений является комплексной математической моделью, описывающей как процесс образования дождевого стока на водосборе, так и процесс переноса сформированным стоком загрязняющих веществ.

Для решения этой системы уравнений необходимо задать начальные и граничные условия:

$$\text{при } t = 0 \quad h = 0, \quad C = C_H$$

$$h|_r = 0; \quad C|_r = C_{\Phi},$$

где C_H, C_{Φ} - начальная и фоновая концентрации загрязнений; r - граница водосбора.

Для численного решения уравнения конвективной диффузии использовался конечно-разностный метод. После решения дифференциального уравнения массообмена получим:

$$C_{i,j}^{n+1} = C_{i,j}^n \left\{ 1 + \frac{\Delta t}{m(1+G)} \left[\frac{1}{\Delta x^2} (2U_{i,j}^n \Delta x - U_{i,j+1}^n \Delta x - D_K - D_{K+1} - \lambda_K U_{i,j+1}^n - \lambda_{K+1} U_{i,j}^n) + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{\Delta y^2} (2V_{i,j}^n \Delta y - V_{i+1,j}^n \Delta y - D_K - D_{K+1} - \lambda_K V_{i+1,j}^n - \lambda_{K+1} V_{i,j}^n) \right] \right\} + \frac{\Delta t}{m(1+G)} \left[C_{i,j-1}^n \frac{D_K + \lambda_K U_{i,j}^n}{\Delta x^2} + \right. \\ \left. + C_{i-1,j}^n \frac{D_K + \lambda_K V_{i,j}^n}{\Delta y^2} + C_{i,j+1}^n \frac{1}{\Delta x^2} (D_{K+1} + \lambda_K (U_{i,j+1}^n - U_{i,j}^n) + \lambda_{K+1} U_{i,j}^n - U_{i,j}^n \Delta x) + \right. \\ \left. + C_{i+1,j}^n \frac{1}{\Delta y^2} (D_{K+1} + \lambda_K (V_{i+1,j}^n - V_{i,j}^n) + \lambda_{K+1} V_{i,j}^n - V_{i,j}^n \Delta y) \right].$$

Эти алгоритмы были реализованы в программе, написанной на языке Турбо-Паскаль для персональной машины. Результаты расчета выдаются на экран в графическом виде (показаны на рис. 1).



Рис.1. Решение уравнения конвективной диффузии примеси от ЛАЭС

Список литературы

1. Нечаев А.Ф., Седов В.М. Ядерная энергетика: опыт прошлых лет и современная тенденция развития. / В кн.: Исследование по химии, технологии и применению радиоактивных веществ. - Л.: ЛТИ, 1983, с.3-21.
2. Павлоцкая Ф.И. Специфика поведения и форм нахождения искусственных радионуклидов в почвах. / В кн.: XI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Неорганическая химия и технология неорганических веществ. Радиохимия и ядерная технология. - М.: Наука, 1975. - С.337-339.
3. Демидов В.Н., Кучмент Л.С. Применение двумерной модели формирования стока к задачам водохозяйственного проектирования. / В кн.: III Международный симпозиум по специфическим аспектам гидрологических расчетов для водохозяйственного проектирования. - М.: Гидрометеоздат, 1979. - С.18-22.
4. Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г. Формирование речного стока. - М.: Наука, 1983. - 216с.

Поступила в редакцию 8.01.99.

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.311.25:621.039.004(55)

Scenarios of Development of Nuclear Power Engineering on BB3P-1000 and BREST-type Fast Reactors in Iran \N. Mataji Kajuri; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 8 pages, 2 tables, 8 illustrations. - References, 5 titles.

The different scenarios of development of Iranian nuclear power engineering are considered. A possibility of BREST-type lead-cooled fast reactors introduction in the Iranian nuclear industry is analyzed.

УДК 621.311.25:621.039

Management of Technical and Industrial Hazards on Objects of Nuclear Power Engineering Using the Automated System of Recording and Documenting of Signals \V.V. Titov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 8 pages, 2 illustrations.

The opportunities of application of the multifunctional automated systems of recording of signals on high-hazard industrial objects, including nuclear power engineering are uncovered in the paper.

УДК 523.683:523.64

Chaotic Dynamics in a Problem of N-bodies \N.V. Kulikova, A.V. Mishev, P.I. Ignatenko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 9 illustrations. - References, 11 titles.

The technique of realization of computer modeling and research method of the evolution of objects in the N-bodies problem (formalization of the model, construction of the solution, processing and analysis of results) is considered. Using examples of the decision of spatial gravitational problems for 4 and 6 bodies it was shown that the developed approaches and methods are unique for the research of the evolution of N-bodies dynamic system interaction is caused by fields of a various nature.

УДК 504.3.054:681.7.069.24

The Possibilities of Sondage of Contaminants in the Real Atmosphere Using Industrial Lasers \M.M. Troyanov, Yu.D. Il'ichev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 2 tables, 3 illustrations. - References, 9 titles.

The possibilities of instrumental determination of adsorbing admixtures in a real atmosphere by the method of differential absorption using isotope CO₂-lasers are investigated.

УДК 51-73:504.054

Prediction of Contaminations of Surface Stratum of Territory in Region NPP \K.M. Efimov, E.A. Yas'ko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 4 pages, 1 illustration. - References, 4 titles.

Development of mathematical models of pollution spreading due to natural processes in the soil is hampered by the complexity of representing the soil as a medium of migration owing to heterogeneity of its physicochemical properties and insufficient knowledge of transfer mechanisms. This study offers rather a simple mathematical model of both the formation of rainfall run-off at a catchment area, and the process of transfer of polluting substances by the generated flow. The constructed model is convenient for practical application. Numerical calculations for the Covashy river basin (vicinity of the Leningrad Nuclear Power Plant) have been carried out.

УДК 551.510.42

Removing of Aerosol Fraction from the Troposphere by Atmospheric Precipitation \M.M. Troyanov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 4 pages. - References, 9 titles.

The problem of removal of an aerosol from the atmosphere by clouds is considered. Two different mechanisms of an aerosol removing - at the expense of aerosol moisturing inside clouds and due to