УДК 504.53.064.3+624.131.6

И.П.Бреус, С.А.Неклюдов, В.А.Бреус

Казанский университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТЫХ СРЕД ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ПОЧВОГРУНТОВ

Разработана установка для моделирования массопереноса в трещиновато-пористых средах, позволяющая получать параметры удерживания и миграции техногенных загрязнителей в почвах и грунтах. Проведена ее апробация в лабораторных и полевых лизиметрических опытах при изучении миграции углеводородов и тяжелых металлов в суглинистых почвах. Результаты проекта планируются к внедрению в системе экологического контроля Министерства экологии и природных ресурсов республики Татарстан в качестве новой технологии мониторинга техногенно-загрязненных почв и почвогрунтов.

A device for modeling the mass transfer process within fractured-porous media has been designed. It allows the user to obtain the parameters of retention and migration of technogenic contaminants in soils and sub-soils. Its approbation has been carried out in laboratory and field conditions when studying migration of hydrocarbons and heavy metals in loamy soils. The results of the project are planned to be introduced into the ecological control system of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan as a new technology to monitor technogenic-contaminated soils and sub-soils.

В настоящее время в биосферу ежегодно поступает свыше 500 тыс. различных по химическому составу неорганических и органических экзогенных соединений: газообразных, жидких и твердых промышленных отходов, утечек технологических растворов и готовой продукции (в частности, нефти и нефтепродуктов), удобрений, пестицидов, дефолиантов, детоксикантов и бытовых отходов. Практически все эти вещества в той или иной степени токсичны для человека; многие из них деградируют очень медленно и способны к миграции и накоплению в биосфере [1, 3].

Для успешного решения задач ликвидации последствий техногенного загрязнения (сроки и технологии реабилитации) необходимо прогнозирование миграции поллютантов. Целесообразно выделить следующие основные этапы прогнозирования:

- оценка объемов и интенсивности сброса загрязнений;
- определение состава и свойств загрязнителя и почвы;
- получение количественных параметров переноса и удерживания поллютантов в почвах;
- построение прогнозных объектно-ориентированных математических моделей.

Наибольшую трудность представляет моделирование массопереноса в зоне аэрации (играющей особую роль в экологии в связи с защитой грунтовых вод от поступающих сверху загрязнителей), особенно в ее верхнем слое – почве. Явно недостаточно экспериментальное обеспечение математических моделей адекватными данными, особенно для почв и грунтов, структура которых нарушена зонами повышенной проницаемости. Получение таких данных в натурных условиях затратно по времени и материальным ресурсам и усложняется в связи с геологической и химической гетерогенностью загрязненных почвогрунтов. Имеющиеся экспериментальные установки для изучения неоднородных пористых сред основаны на моделировании трещины одной или двумя пластинами. Как правило, их изготавливают из стекла, варьируя поверхность от абсолютно гладкой до сильно шероховатой [2, 4]. Основанные на таком подходе модели неадекватно описывают течение флюидов в трещиновато-пористой сре-

де, прежде всего, из-за отсутствия гидродинамической связи между пористой матрицей и трещиной.

Целью работы было создание установки, моделирующей миграцию поллютантов в почвах и почвогрунтах, структура которых нарушена трещинами и каналами, и включение ее в технологическую цепочку по формированию прогноза дальнейшей судьбы загрязнителей (лабораторные опыты по определению параметров переноса и удерживания загрязнителя – натурные опыты – математические модели). Были последовательно решены следующие задачи:

- изучена структурная динамика почв при увлажнении (почвенная влага значительно изменяет физико-химические свойства и структуру почвы);
- отобраны каркасные высокопроницаемые элементы для имитации трещин и каналов;
- проверена работоспособность физической модели с учетом данных гидрофизических исследований и на примере нефтяных углеводородов и тяжелых металлов в лабораторных модельных и полевых стационарных лизиметрических опытах.

В опытах в насыпных колонках с почвой в состоянии наименьшей влагоемкости (при соответствии порового объема полевым условиям) фиксировали изменения скорости накопления водного инфильтрата, отражавшие соотношение процессов фильтрации и набухания в почве. Определены временные этапы структурной реорганизации измельченной почвы под воздействием почвенной влаги. Методом вакуум-капилляриметрии изучено изменение распределения пор по размерам в ходе увлажнения почвенных кернов и измельченных (насыпных) образцов. В итоге определены условия стабилизации структуры порового пространства почв (завершение процессов набухания и оседания частиц): водонасыщенность почвы, длительность увлажнения, температура, – при которых структуры почвы в насыпной колонке и в природном почвенном монолите близки. Таким образом, разработан подход, позволяющий оценить границы применимости лабораторных насыпных колонок в моделировании процессов фильтрации в почвах разной структуры и исследовать динамику структурных превращений в измельченной почве как матрице, составляющей основу пористой среды.

В связи с изменением структуры почвы в ходе увлажнения-высыхания исследовано влияние влажности на процесс смыкания и раскрытия почвенных трещин и каналов и установлен уровень требований к эластичности (подвижности) каркасных высокопроницаемых элементов, предназначенных для моделирования зон повышенной проницаемости, т.е. принцип построения модели трещиновато-пористой среды, способной к набуханию и усадке. Выбор инертных материалов для моделирования проведен на основе измерения химической и сорбционной активности черных и цветных металлов, стекла и волокнистых материалов по отношению к воде, углеводородам и другим загрязнителям. В качестве перспективных для имитации трещин предложены тканые (по технологии изготовления) и объемные по структуре металлические сетки из нержавеющей стали, меди и латуни, а также изготовленные на листоотливочной машине ЛОА-2 новые высокопроницаемые каркасные элементы из синтетических и натуральных волокон, вводимые в пористую среду. Предложенные материалы отличаются высокой эластичностью, химической и физико-химической инертностью и обеспечивают широкий диапазон и высокую точность раскрытия трещин, а также гидродинамическую связь между блоками. В результате оказалось возможным моделировать трещины в почвах с высоким содержанием глинистых минералов без нарушения процессов набухания-высыхания.

Апробация подходов к моделированию зон повышенной проницаемости проведена в серии опытов с углеводородами для условий одномерной фильтрации в лабораторных насыпных микролизиметрах, моделирующих почвенную среду с двойной пористостью, и с углеводородами и тяжелыми металлами в стационарном полевом лизиметрическом комплексе Казанского госуниверситета на выщелоченном черноземе макро-

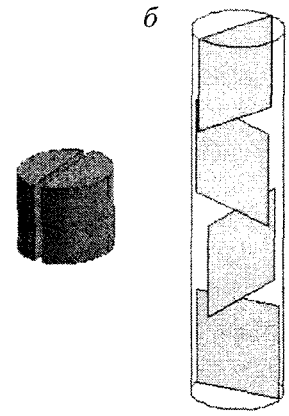
неоднородной структуры. Результаты опытов подтвердили применимость предложенных образцов высокопористых волокнистых материалов для имитации трещин и каналов, образующихся в реальной почве.

На основе совокупности полученных результатов обоснован выбор единичного элемента и разработана линейная модель трещиновато-пористой почвенной среды (см. рисунок). Разработанная установка отличается высокой воспроизводимостью экспериментальных данных, широким диапазоном моделирования почвенных сред и простотой в эксплуатации. В настоящее время она является фактически основным инструментом для получения экспериментальных данных, необходимых для математического моделирования миграции техногенных загрязнителей в трещиноватых почвогрунтах. Предложенная установка может быть использована также для экспериментального моделирования и оценки последствий аварийных разливов и выбросов техногенных загрязнителей на поверхность почвы; определения сроков и объемов работ, выбора эффективных технологий реабилитации загрязненных участков.

Результаты работ планируются к внедрению в системе экологического контроля Министерства экологии и природных ресурсов республики Татарстан в качестве новой технологии экологического мониторинга техногенно загрязненных почв и почвогрунтов.

Выводы

Разработана установка для моделирования массопереноса в трещиновато-пористых средах, позволяющая получать временные, пространственные и концентрационные параметры удерживания и миграции техногенных загрязнителей в почвах и грунтах.



Единичный элемент (*а*) и модель одномерного массопереноса (*б*) с ортогональной ориентацией трещин

В лабораторных и полевых стационарных лизиметрических опытах проведена ее апробация при изучении миграции углеводородов и тяжелых металлов в суглинистых почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мироненко В.А.* Загрязнение подземных вод углеводородами / В.А.Мироненко, Н.С.Петров // Геоэкология. 1995. С.3-27.

2. *Firoozabadi A.* Laboratory studies in fractured porous media. 1. Reinfiltration for gas-liquid systems / A.Firoozabadi, T.Markeset // In Situ. 1995. Vol.19. N 1. P.1-21.

3. *Lewanovski J.* Schadstoffe im Boden / J.Lewanovski, St.Leitschut, V.Kop. Berlin: Springer Verlag, 1997. 340 s.

4. *Pruess K.* Alternative concepts and approaches for modeling flow and transport in thick unsaturated zones of fractured rocks / K.Pruess, B.Faybishenko, G.S.Bodvarsson, K.Pruess, B.Faybishenko, G.S.Bodvarsson // J.Contam. Hydrol. 1999. Vol.38. P.281-322.