

О.П. Перегудова, Л.Е. Механтьева, Т.П. Склярова, Г.И. Сапронов
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ
СОЕДИНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ ГРУНТОВЫХ ВОД

ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России, каф. медицины катастроф и безопасности жизнедеятельности

Резюме. Решение задач принятия решений на основе информации о состоянии природной среды требует непрерывного мониторинга, являющегося информационной основой управления, которое может осуществляться только при наличии опережающей информации, позволяющей прогнозировать развитие ситуаций, принимать плановые решения и оценивать их по критериям стоимости, времени, эффективности и риска.

Ключевые слова: хлорсодержащие соединения, химически опасный объект, система поддержки принятия решений, база знаний, дифференциальное уравнение, массовый поток.

Актуальность. Количество отходов, производимых человеческим обществом, возрастает. Промышленные отходы обычно по объему бывают меньше, но в них более вероятно содержание опасных материалов, таких как токсичные химические вещества, горючие жидкости и асбест. Хотя общий объем промышленных отходов меньше, чем бытовых, удаление опасных промышленных отходов представляет более серьезную проблему, в сравнении с бытовыми отходами, по причине их опасности для здоровья и риска загрязнения окружающей среды.

Загрязнение поверхностных вод может происходить путем смыва осадками, если загрязнен верхний слой почвы, или с помощью грунтовых вод. Когда грунтовые воды питают местный водоем – реку или озеро, загрязнители попадают в этот водоем. Некоторые химические вещества формируют донные отложения, другие – переносятся течением.

Предприятия сбрасывают в водоемы отходы промышленности. Пока количество загрязнителей, выбрасываемых в атмосферу или сбрасываемых в реки, невелико, экосистемы сами в состоянии справиться с ними. Вредные вещества накапливаются в растениях, оседают на дне озер и участков реки с медленным течением, их разлагают микроорганизмы. При умеренном загрязнении вода в реке становится практически чистой через 3-10 км от источника загрязнения. Если загрязнителей слишком много, экосистемы не могут с ними справиться и начинаются необратимые последствия.

Хлорированные растворители, типа тетрахлорэтил и трихлорэтил активно используются в различных производственных процессах. Хлорированные растворители, вторые по числу самых часто встречающиеся загрязнители воды. Эти загрязнители обычно распространяются в окружающей среде как плотные обезвоженные жидкие фазы. Если пролито достаточное количество свободного хлорсодержащего растворителя, загрязнитель может быстро мигрировать в более глубокие области насыщенной зоны водоносного слоя. Под влиянием экологические транспортные процессы адвекции, дисперсии, и диффузии загрязнитель растворяется в воде и переносится в растворенном виде на большие расстояния.

Материал и методы исследования. В настоящее время большое количество химически опасных объектов заставляет задуматься об актуальности и своевременности разработок в направлении мониторинга и прогнозирования опасных отходов в регионе. Ниже приведен перечень химически опасных объектов по Воронежской области.

ООО ПТП «Воронежский шинный завод», акционерное общество
МППУ «Воронеж-водоканал» ВПС-3а, департамент ЖКХ
МППУ «Воронеж-водоканал» ВПС-4, департамент ЖКХ
МППУ «Воронеж-водоканал» ВПС-8, департамент ЖКХ
МППУ «Воронеж-водоканал» ВПС-12, департамент ЖКХ
МППУ «Воронеж-водоканал» СТВ-2, департамент ЖКХ
МППУ «Воронеж-водоканал» ВПС-9, департамент ЖКХ
ОАО «ВАСО», акционерное общество МППУ «Воронеж-водоканал» ВПС-6,
департамент ЖКХ
МППУ «Воронеж-водоканал» КНС-29а, департамент ЖКХ
МППУ «Воронеж-водоканал» ВПС-11, департамент ЖКХ
МП «Управление водопроводно-канализационного хозяйства» (Водозабор № 3),
департамент ЖКХ

Цель и задачи исследования – разработка структуры подсистемы моделирования и прогнозирования распространения хлорсодержащих загрязнителей, используя принципы системного подхода, сформировать требования к ней и на основе этих требований определить состав компонент и связи между ними.

Полученные результаты и их обсуждение. Система состоит из следующих функциональных блоков: блока приобретения знаний, блока данных и знаний, блока логического вывода, блока объяснения логического поиска, подсистемы анализа и прогноза изменения обстановки, подсистемы генерации решений по защите населения и окружающей среды в аварийной ситуации, подсистемы оценки предлагаемых сценариев действий (контрмер) и выбора наиболее приемлемого, функционирующих в среде управляющей подсистемы. Упрощенная схема СППР представлена на рисунке 1.

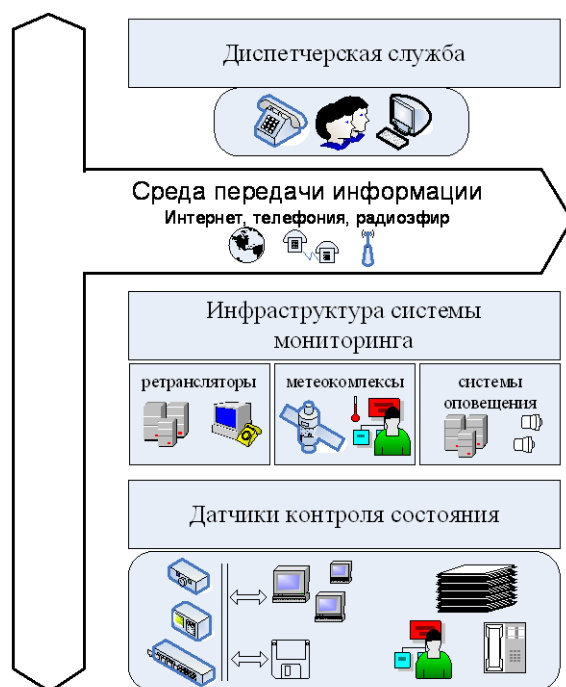


Рис. 1. Многоуровневая структура мониторинга и прогнозирования аварийных разливов хлорсодержащих соединений

Взаимодействие с СППР осуществляется через интеллектуальный интерфейс общения (ИИО). Описание задачи, проблема поступает в блок логического вывода (БЛВ), который, используя информацию из базы знаний (БЗ), генерирует рекомендации по решению проблемы. С помощью блока объяснения решения (БОР) происходит отображение промежуточных и окончательных решений заданной проблемы, пояснение пользователю действий системы. Функция блока приобретения знаний (БПЗ) состоит в поддержке процесса извлечения знаний о соответствующей проблемной области и их проверке на непротиворечивость с имеющимися в БЗ [2].

Задача подсистемы анализа (ПСА) – оценка состояния и прогноз изменения химической обстановки на любых заданных расстояниях от химически-опасного объекта для всех временных этапов развития аварии, связанной с выбросом и сбросом хлорсодержащих растворителей в окружающую природную среду.

Задача подсистемы генерации (ПСГ) – на основе данные о состоянии химической обстановки, а также существующих планов противоаварийного реагирования, подготовить набор возможных вариантов действий, способных снизить воздействие на население и окружающую среду аварийной ситуации (генерация решений)

Формирование базы знаний о контрмерах. После того, как на основе первого этапа выработаны предложения или приняты решения о выполнении определенного набора действий, в базу данных экспертной системы, являющейся компонентой СППР, записываются условия, при которых могут быть выполнены эти действия и детали их выполнения в соответствии с создавшимися условиями. На основе этой информации

экспертная система в соответствии с конкретной обстановкой, генерирует решение о порядке выполнения действий.

Для решения уравнений массопереноса при заданных начальных и граничных условиях используют численные методы, а именно метод конечных элементов и метод конечных разностей [3]. В последнее время создано большое количество математических моделей, использующих эти методы. Исследователь имеет возможность получить ряд последовательных значений давления или напора грунтовых вод и концентрации в узлах пространственной сетки. Таким образом, на основе полученных результатов, может быть принято оптимальное решение.

Формализованной моделью функционирования природно-технической системы будем называть комплекс:

$$\{F, H, X, L\},$$

где F, H - функции, отображающие структуру; L - множество переменных (параметров), характеризующих ее состояние; X- множество соотношений, отображающих взаимосвязи между этими переменными.

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений, описывающую перемещение химически активного состава в водоносных горизонтах. Если разложение происходит как в жидких, так и в твердых фазах то уравнение (1) примет вид:

$$R_i \frac{\partial c_i}{\partial t} + v \frac{\partial c_i}{\partial x} - D_x \frac{\partial^2 c_i}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c_i}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 c_i}{\partial z^2} = \sum_{j=1}^{i-1} R_j y_{i/j} k_j c_j - R_i k_i c_i + \sum_{j=i+1}^n R_j y_{i/j} k_j c_j, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

В настоящее время известно, что хлористые растворители могут увеличивать свою массу, путем разложения в реакциях с естественными анаэробными веществами. Процесс разложения может быть представлен следующим способом: PCE → TCE → DCE → VC → этилен. Далее, некоторые полевые и лабораторные исследования показали, что описанная последовательность относится к химическим реакциям первого порядка. Рассмотрим решение общей математической задачи, включающей перемещение четырех химически активных веществ, которые разлагаются последовательно, с переменным уровнем сорбции. Основные уравнения, описывающие перемещение с факторами промедления представлены ниже:

$$\begin{aligned}
 R_1 \frac{\partial C_1}{\partial t} + v \frac{\partial C_1}{\partial x} - D_x \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C_1}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 C_1}{\partial z^2} &= -k_1 R_1 C_1 \\
 R_2 \frac{\partial C_2}{\partial t} + v \frac{\partial C_2}{\partial x} - D_x \frac{\partial^2 C_2}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C_2}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 C_2}{\partial z^2} &= k_1 R_1 C_1 - k_2 R_2 C_2 \\
 R_3 \frac{\partial C_3}{\partial t} + v \frac{\partial C_3}{\partial x} - D_x \frac{\partial^2 C_3}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C_3}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 C_3}{\partial z^2} &= k_2 R_2 C_2 - k_3 R_3 C_3 \\
 R_4 \frac{\partial C_4}{\partial t} + v \frac{\partial C_4}{\partial x} - D_x \frac{\partial^2 C_4}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 C_4}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 C_4}{\partial z^2} &= k_3 R_3 C_3 - k_4 R_4 C_4 \\
 c_i(x, y, z, 0) &= \frac{\hat{m}_i}{\phi} \delta(x, y, z) \quad \forall \quad i = 1 \dots 4
 \end{aligned}$$

Соответственно:

где c_i – концентрация разновидностей загрязнителя [ML-3];

k_i – коэффициент разрушения i -го загрязнителя первого порядка [T-1];

R_i фактор промедления i -го вещества;

v – скорость переноса загрязнителя [LT-1];

D – коэффициент дисперсии [L²T-1];

n – общее количество веществ, участвующих в реакции.

В процессе трансформации загрязнителя непрерывно происходит процесс естественного ослабления загрязнения, поэтому для адекватного описания модели межсредовых переходов необходимо учесть и механизмы естественного ослабления загрязнителя

При этом подходе, рассматривается поток грунтовой воды, а также известны концентрации загрязняющих примесей, с целью оценки их объема в зонах поперечных разрезов исследуемого облака загрязнения.

Вследствие такого подхода можно дать адекватные оценки следующим критериям:

потенциальное воздействие эффекта просачивания загрязнителя в подземные резервуары на качество воды;

снижение массы загрязнителя с увеличением расстояния от источника;

экономия расходов на устранение загрязнения, применяя альтернативные средства.

Для получения оценки величины загрязнения в определенном временном интервале необходимо учитывать начальную концентрацию загрязнителя, а также распространение потока поперек направления течения. Оценка времени естественного ослабления загрязнения содержит значительную неопределенность, и прогнозировать можно только с некоторой степенью достоверности. В настоящей работе рассматриваются методы оценки загрязнения в различных областях потока.

Построение модели осуществляется посредством оценки массового потока примеси в различных областях загрязненного участка, в определенный момент времени.

Направление потока грунтовых вод и гидравлический градиент для каждого сегмента линии поперечного разреза могут быть определены из потенциометрической поверхностной топографической карты, составленной на основе измерений уровня грунтовых вод. Для адекватности оценки гидравлическая проводимость грунтовых слоев должна быть определена в нескольких точках.

В двухмерном пространстве поперечный разрез представляет линию, пересекающую всю ширину "пера" загрязнения, перпендикулярную направлению потока грунтовой воды. Для однородных областей потока, поперечный разрез будет прямой линией, а в местах неоднородного потока, поперечный разрез будет иметь криволинейную форму. В трехмерном пространстве (многоуровневые контрольные колодцы забора проб), линия поперечного разреза представляет вертикальную плоскость через "перо" загрязнения грунтовых вод, перпендикулярную направлению массового потока.

Полный поток массы загрязнителя может быть вычислен следующим образом:

$$w = \sum_{i=1}^{i=n} C_i q_i A_i CF$$

где w - полный массовый поток от источника (г/день), также называемый массовой разгрузкой

C_i – концентрация примеси в области потока поперечного разреза

q_i – определенная разгрузка (также называемая скоростью Дарси) через область потока i (см/с). q_i может быть рассчитана следующим образом:

$$q_i = K \cdot i$$

где K – гидравлическая проводимость (см/с)

i – гидравлический градиент

A_i – площадь, связанная с индивидуальным измерением (ft²)

CF – конверсионный фактор равный 80,3 ((ft/см)/с/день L/ft³ g/mg)

Выводы. Используя модель распространения загрязнения в грунтовых водах, можно определить концентрацию загрязнителя на определенном расстоянии от источника и в определенный момент времени. Таким образом, можно прогнозировать поведение хлора и хлорсодержащих примесей в естественной среде с учетом биodeградации.

Литература.

1. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А., Томаков В.И., Фалеев М.И. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: ЗАО ФИД "Деловой экспресс", 2002 368 с.
2. Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нестандартных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. М.: УРСС, 2001. 303 с.
3. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.

Abstract

O.P. Peregudova, L.E.Mehanteva, T.P. Sklyarova, G.I.Sapronov

PREDICTION OF DISTRIBUTION CHLORINE COMPOUNDS BASIN GROUNDWATER

Voronezh State Medical University, dep. of Disaster Medicine and Life Safety

The decision on the basis of information about the decision-making tasks sostoyanii environment requires continuous monitoring, which is the basis informatsionnoy control that can osuschestvlyatsya only with advance information, allows to predict development of the situation, to make planning decisions and their criteria otsenivat cost, time efficiency and risk.

Keywords: chlorinecontaining compounds, chemically hazardous object, decision support system, knowledge base, the differential equation, the mass flow.

References.

1. Akimov VA, Lapin VL Popov VM, Puchkov VA, VI Tomacov, Faleev MI Reliability of technical systems and technological risks. - М .: ZAO FID "Business Express", 2002 - 368 p.
2. Gelovani VA, Bashlykov AA Britkov VB Vyazilov ED Intelligent decision support system in emergency situations with the use of information about the state of the environment. М .: URSS, 2001. 303 p
3. Trahtengerts EA Computer support of decision-making. - М .: SINTEG, 1998. 376 p.

Сведения об авторах: Перегудова Олеся Павловна - Студентка ВГМУ им. Бурденко, peregudova.op@gmail.com; Механтьева Людмила Евгеньевна - доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, Воронежский государственный университет им. Бурденко , кафедра медицины катастроф и безопасности жизнедеятельности, medkat@vsmaburdenko.ru; Скларова Татьяна Петровна - кандидат медицинских наук, доцент, Воронежский государственный университет им. Бурденко, кафедра медицины катастроф и безопасности жизнедеятельности, medkat@vsmaburdenko.ru; Сапронов Геннадий Иванович - кандидат медицинских наук, доцент, Воронежский государственный университет им. Бурденко, кафедра медицины катастроф и безопасности жизнедеятельности, medkat@vsmaburdenko.ru