

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССОПЕРЕНОСА ПОТОКОМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

Серіков Данияр Әділетұлы

магистрант, Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д. Серикбаева, Казахстан, г. Усть-Каменогорск

Использование моделей подземных вод широко распространено в области наук об окружающей среде [1-5]. Эти модели используются для изучения широкого спектра гидрогеологических условий. Например, определение баланса воды, получение информации о количественных количествах ненасыщенных зон, моделирование потока воды в насыщенных средах, моделирование распространения химических веществ, влияние изменения режима подземных вод на окружающую среду, создание, оптимизация, контроль и создание зон охраны подземных вод. Кроме того, эти модели используются для прогнозирования переноса загрязняющего вещества с целью оценки опасности. Особенность работы заключается в том, что среда является неоднородной, что существенно затрудняет формулировку проблемы и методы ее количественного решения.

Цель работы-разработка алгоритмов для количественного внедрения модели распределения загрязнителей в неравномерной пористой среде подземных вод.

Актуальность работы заключается в определении баланса воды, получении информации о количественных количествах ненасыщенных зон, моделировании потока воды в насыщенных средах, моделировании распространения химических веществ, влиянии изменения режима подземных вод на окружающую среду, создании, оптимизации, контроле и создании зон охраны подземных вод.

В этой работе представлены три разностные схемы, реализующие модель: схема дробления по переменным пространства, параметрическая схема, схема стабилизирующей коррекции. По разносторонней схеме проведено два эксперимента. В ходе проведения данной практики были получены графики.

Постановка задачи. Для описания движения подземных вод используется уравнение Буссинеска следующего типа:

$$v \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Q$$

Здесь:

$x, y$  - декартныe координаты вдоль поверхности Земли;

$h$  - пьезометрическая высота;

$T_x, T_y$  - гидравлическая проводимость по направлениям  $x$  и  $y$ ;

$Q$  - объемный поток в одной единице объема, который является условиями глаз и поглощения;

$v$  - коэффициент относительного сохранения, который определяет объем воды, удаляемой из водоема, при изменении высоты на единицу измерения.

$T_x, T_y$  для проводимости известны следующие эмпирические зависимости:

$$T_x = \begin{cases} k_x(z_{кр} - z_n), & \text{если } h \geq z_{кр}, \\ k_x(h - z_n), & \text{если } z_n < h < z_{кр}, \\ 0, & \text{если } h < z_n, \end{cases}$$
$$T_y = \begin{cases} k_y(z_{кр} - z_n), & \text{если } h \geq z_{кр}, \\ k_y(h - z_n), & \text{если } z_n < h < z_{кр}, \\ 0, & \text{если } h < z_n, \end{cases}$$

здесь:

$k_x, k_y$  - коэффициенты фильтрации по направлениям  $x$  и  $y$ ,

$z_n$  - высота основания слоя,

$z_{кр}$  - высота потолка этажа.

$v$  для функции расчета используется следующая формула расчета:

$$v = \begin{cases} v_1, & \text{если } h \geq z_{кр}, \\ v_2, & \text{если } h < z_{кр}, \end{cases}$$

здесь:

$v_1$  - коэффициент затяжной вместимости слоя,

$v_2$  – коэффициент гравитационной водостойкости.

Транспортировка растворенных веществ в насыщенной среде характеризуется уравнением адвекции-дисперсии следующего вида:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(cv_x) - \frac{\partial}{\partial y}(cv_y) + \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + R_c,$$

ЗДЕСЬ:

$c$  – концентрация растворенного вещества,

$R_c$  – источники,

$D_x, D_y$  – тензор коэффициента дисперсии,

$v_x, v_y$  – скорость. При этом предполагается, что пористость среды распределена равномерно.

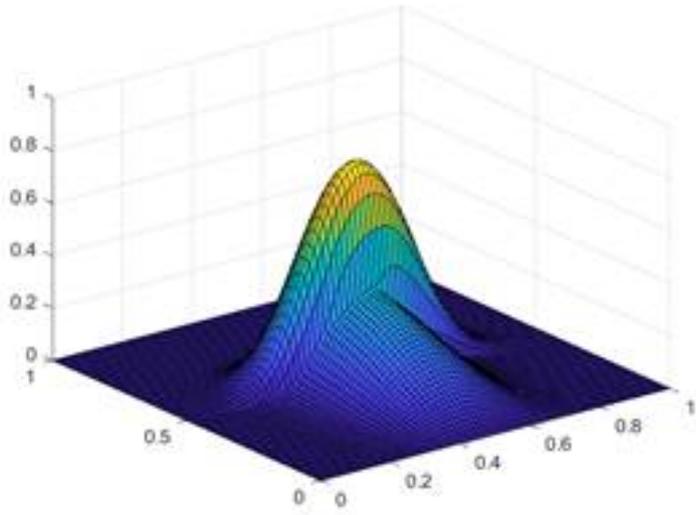
(1), (2) дополняем систему уравнений следующими начальными и пограничными условиями:

$$h(x, y, 0) = h_0, \quad c(x, y, 0) = c_0,$$

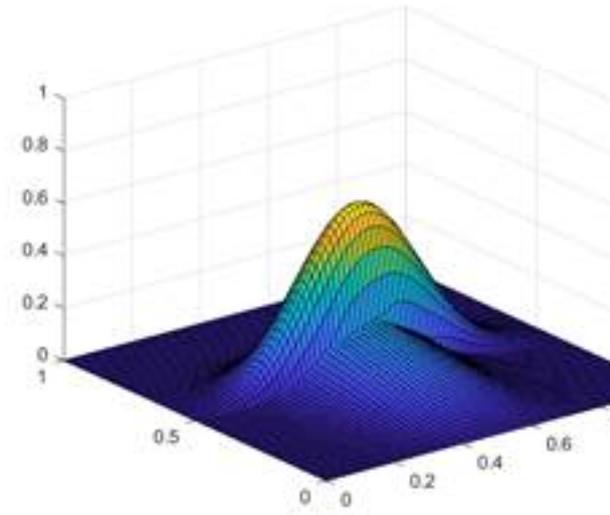
$$\left. \frac{\partial h}{\partial \vec{n}} \right| = 0, \quad \left. \frac{\partial c}{\partial \vec{n}} \right| = 0.$$

Для реализации модельного числа была разработана программа в среде MatLab, а также проведены числовые вычислительные эксперименты. Результаты вычислительных экспериментов представлены на рисунках 1 и 2

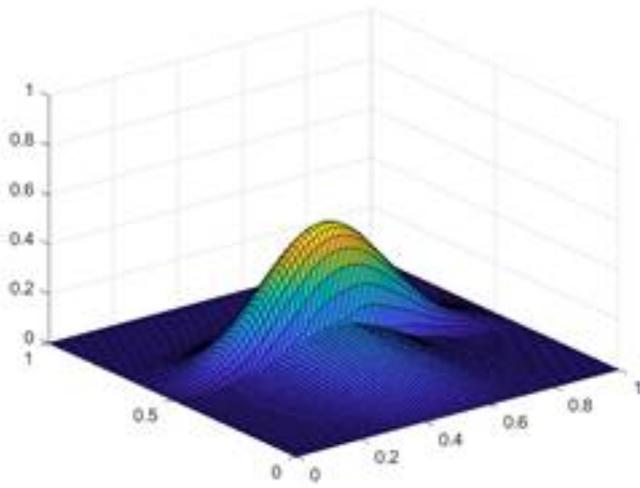
В первой практике в качестве проводящих функций принята простая часть-постоянная функция. По результатам практики средняя разделена на две части, распределение функции  $h(x, y)$  в каждой части происходило разным.



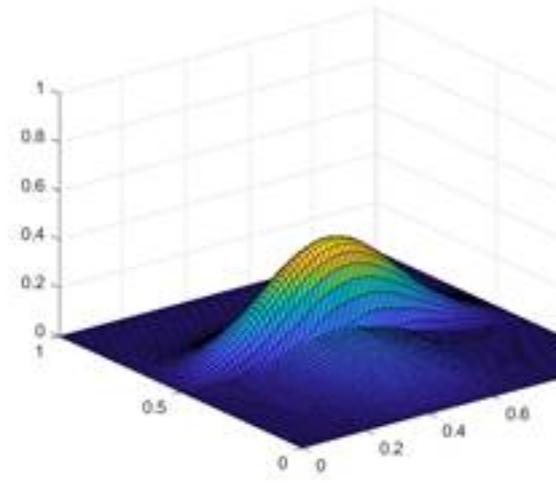
а)



б)



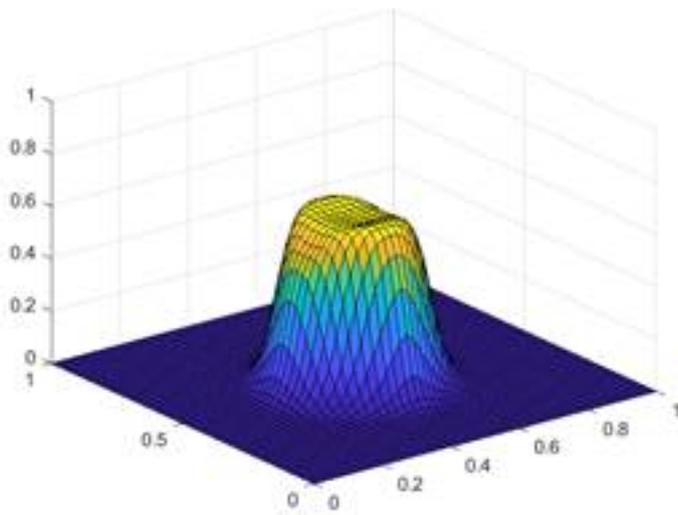
в)



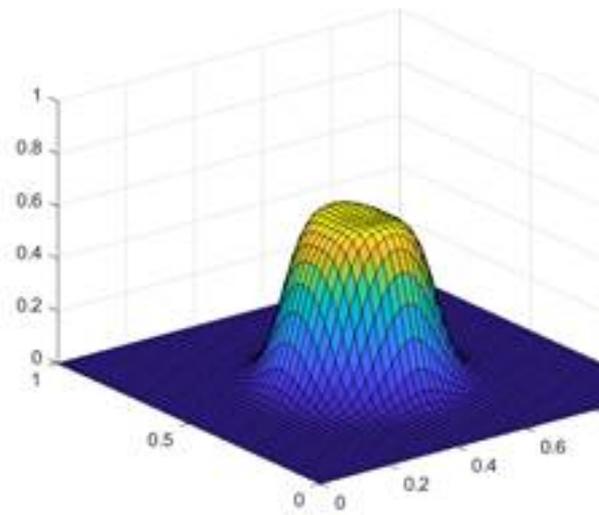
г)

**Рисунок 1. Результаты первой вычислительной практики**

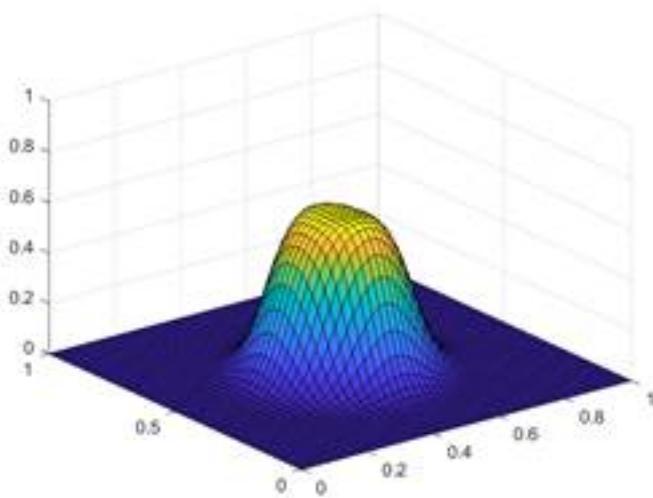
Во второй практике в качестве проводниковых функций приняты более сложные зависимости.



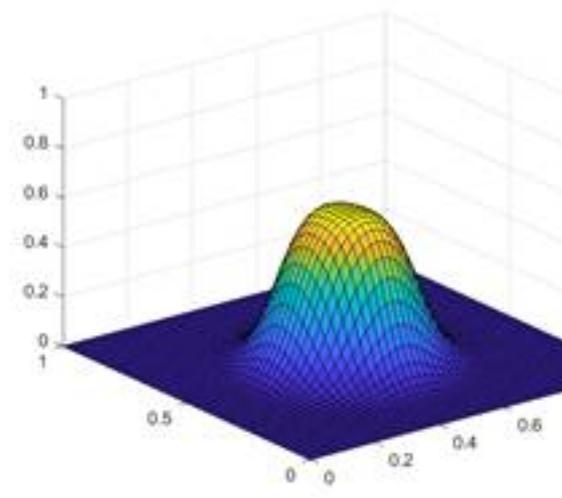
а)



б)



в)



г)

**Рисунок 2. Результаты второй вычислительной практики**

Таким образом, в этой работе была изучена модель распределения загрязнителя в неравномерной пористой среде подземных вод, сформирован алгоритм ее количественной реализации. С целью изучения устойчивости схем, удалось убедиться в накоплении итерационного процесса, изменяя шаг сетки в широком диапазоне.

### **Список литературы:**

1. Клёцкина О.В., Минькевич И.И., Андреев А.И. Исследование процессов самоочищения подземных вод от техногенного загрязнения соединениями азота // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 1-8.
2. Кузнецов, Д. С. Моделирование структуры потоков подземных вод в многослойных водоносных системах. – диссертация на соискание степени кандидата физико-математических наук. – 2004. – 172 с.
3. Рудаков Д.В. Моделирование массопереноса радионуклидов в потоках подземных вод:

Монография. - Д.: Герда, 2010. - 160с.

4. Зотов К. В., Кучурина Т. Н. Основы моделирования массопереноса в пористой среде. Часть I. - СПб, 2014. - 34 с.

5. Стародубцев В. С. Учет процессов массопереноса загрязняющих компонентов в системах автоматизации проектирования водозаборов подземных вод // Научный журнал КубГАУ. - 2012. - №77(03). - С. 1-10.