

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Судариков'.

Руководитель программы
аспирантуры
профессор С.М. Судариков

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИДРОГЕОЛОГИИ**

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	1. Естественные науки
Группа научных специальностей:	1.6. Науки о Земле и окружающей среде
Научная специальность:	1.6.6. Гидрогеология
Направленность (профиль):	Гидрогеология
Отрасли науки:	Геолого-минералогические, технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	3 года
Составитель:	д.г-м.н., проф. Судариков С.М.

Санкт-Петербург

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации разработаны на основе рабочей программы дисциплины «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИДРОГЕОЛОГИИ» и предназначены для самостоятельного изучения обучающимися.

Основными целями изучения данной дисциплины являются закрепление мировоззрения аспирантов о взаимосвязи и обусловленности природных гидрогеологических процессов; получение ими знаний, необходимых для обоснования и ведения современных методов математического моделирования в гидрогеологии; формирование знаний по проведению экспертных оценок различных природных и техногенных ситуаций; приобретение навыков планирования работ на разных стадиях исследований в гидрогеологических условиях различных регионов.

Выпускник должен уметь применять теоретические и инновационные подходы к пониманию математических методов моделирования; применять знания об особенностях формирования основных типов крупных скоплений и месторождений пресных и минеральных (лечебных, промышленных и термальных) вод на территории России, обеспеченности этими водами различных районов и перспективами их использования, а также владеть навыками накопления, обработки, анализа и синтеза полевой и лабораторной гидрогеологической информации.

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИДРОГЕОЛОГИИ»

Тема 1. Математические модели геологических сред

Цели и задачи занятия:

Ввести обучающихся в предмет «Современные методы математического моделирования», сформулировать представление о видах математических моделей и о решении уравнений математических моделей.

Учебные вопросы по самостоятельной работе:

1. Решение уравнений математических моделей.
2. Виды математических моделей геологического пространства.

Методические указания:

Наиболее широко распространенной моделью геологического пространства является модель *сплошной среды*. В целом, сплошные среды могут быть подразделены на

гомогенные и гетерогенные, которые, в свою очередь, могут быть однородными или неоднородными.

Многоуровневые модели могут быть использованы и в случаях, когда рассматриваются процессы в элементах, которые, в свою очередь, сложены более мелкими подэлементами.

На *микроуровне* будем полагать, что элементы, составляющие водоносный горизонт, имеют размеры «минимальных элементарных объемов», для которых справедливы предпосылки сплошности среды.

На *мезоуровне* элементы, составляющие среду, могут быть представлены на уровне объемов, линейные размеры которых соизмеримы с мощностью водоносных пластов: от $N * 10^{-1}$ до $N * 10$ м, иногда $N * 10^2$ м.

На *макроуровне* фильтрация изучается на уровне характерных размеров областей фильтрации.

Рекомендуемая литература:

основная: [1-3];

дополнительная: [6-13].

Тема 2. Математические основы методов численного моделирования задач геофильтрации.

Цели и задачи занятия:

Изучение пространственной ориентации модельной сетки и номенклатуры гидрогеологических карт. Рассмотрение различных типов ограничений, касающихся гидрогеологических моделей.

Учебные вопросы по самостоятельной работе:

1. Пространственная ориентация модельной сетки.
2. Пять типов ограничений, касающихся гидрогеологических моделей.

Методические указания:

Пространственная ориентация модельной сетки должна проводиться по странам света и зависеть от номенклатуры карт. Должен выполняться принцип вложенности сеток для врезок в более крупную сетку. Линейные размеры модельных сеток "врезок" должны быть кратными основной сетке. Номенклатура масштабов карт должна быть примерно следующей: М 1:2 500 000 (обзорные карты), М 1:1 000 000, М 1:500 000, М 1:200 000 (основной масштаб), М 1: 50 000, М 1:25 000, М 1:10 000.

Отметим некоторые положения, высказанные Р.А. Фризом и дополненные М.Г.Андерсен и Т.П. Берг в отношении ограничений касающихся гидрогеологических моделей и, в частности, ПДМ. Различают пять типов таких ограничений:

1. Ограничения, связанные с неадекватностью системы существующих теоретических представлений природным объектам или с невозможностью учета на модели некоторых элементов этих теорий. К этому классу ограничений относятся также вычислительные сложности, возникающие при решении детерминированных уравнений геофильтрации, и проблемы, связанные с учетом на модели переменных областей питания.

2. Ограничения, связанные с недостатком имеющихся данных для калибровки модели и проведения модельных расчетов. Неточность исходных гидрогеологических параметров, определяемая масштабами опробования и погрешностями замеров, может выступать фактором, снижающим эффективность модельных прогнозов независимо от структуры моделей. Многими авторами отмечается, что, по мере того как структура моделей совершенствуется, качество исходной информации все в большей степени начинает выступать в роли основного ограничения.

3. Ограничения, связанные с техническими возможностями вычислительных средств. В этих условиях, даже при наличии больших ЭВМ более целесообразным может оказаться применение концептуальных моделей.

4. Ограничения процедур калибровки. К их числу относятся сложность учета взаимосвязи гидрологических и гидрогеологических параметров, отсутствие общепризнанных функций ошибок, необходимость в разработке более тонких методов анализа чувствительности, выполняемого в процессе оценивания параметров модели. Недостаточное внимание к калибровке модели может привести к еще более серьезным проблемам, особенно в случаях, когда параметры, определенные по результатам решения обратной задачи, выходят за диапазон их реальных значений, а также в ситуациях, когда погрешностей полевых замеров влекут за собой непредвиденные ошибки анализа.

5. Ограничения, возникающие в процессе применения моделей для целей управления. В отдельных случаях расчетные гидрогеологические модели не в полной мере учитывают ограничения, накладываемые на управляющие воздействия.

Рекомендуемая литература:

основная: [1-3];

дополнительная: [6-13].

Тема 3. Математические основы методов численного моделирования задач геомиграции.

Цели и задачи занятия:

Численное решение задач массопереноса в подземных водах наибольшее методами конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ). Применение основных разностных схем для решения уравнения конвективного переноса.

Учебные вопросы по самостоятельной работе:

1. Построение гидродинамических моделей.
2. Метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ).

Методические указания:

В настоящее время численного решения задач массопереноса в подземных водах наибольшее распространение получили методы конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ). МКР основан на замене исходных дифференциальных операторов разностными аналогами. МКЭ является интегральным методом, основанным на аппроксимации искомой непрерывной функции набором кусочно-непрерывных функций. Во многих работах было показано, что МКР является частным случаем МКЭ. В практике гидрогеологических расчетов МКР получил наибольшее распространение, что связано с его относительной простотой и наглядностью. Известно, что применение МКЭ теоретически должно давать более высокую точность решения, однако опыт показывает, что выигрыш в математической точности аппроксимации исходных дифференциальных уравнений зачастую оказывается значительно меньше погрешностей схематизации и определения параметров процесса.

Тема 4. Использование методов теории вероятностей и математической статистики для построения моделей.

Цели и задачи занятия:

Проверка статистических гипотез. Применение в качестве форм представления экспериментальных данных графиков рассеяния, гистограмм и многоугольников распределения.

Учебные вопросы по самостоятельной работе:

1. Случайная величина.
2. Закон распределения случайной величины.

Методические указания:

Случайной величиной называется действительная переменная, которая может принимать те или иные значения в зависимости от условий опыта или других обстоятельств. Случайная величина X называется дискретной, если она может принимать только конечное или счетное множество значений, в противном случае случайная величина называется непрерывной.

Законом распределения случайной величины называют всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Пусть X – некоторая случайная величина. Функцией распределения $F(x)$ случайной величины X называется функция

$$F(x) = P(X < x),$$

где P – вероятность.

Значение функции распределения в точке x_0 , таким образом, равно вероятности того, что случайная величина примет значение, меньшее x_0 . В теории вероятностей случайная величина полностью характеризуется своей функцией распределения, т.е. может рассматриваться как заданная, если задана функция распределения.

ЛИТЕРАТУРА КО ВСЕМ ТЕМАМ

1. Геологическая эволюция и самоорганизации системы вода-порода. Т.1: Система вода – порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование/С.Л. Шварцев гл. ред./СО РАН, 2005, 244с.

2. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии/Крайнов С.Р., Ю.В.Шваров, Д.В.Гричук, Е.В.Добровольский, Г.А.Соломин, М.В.Борисов,, Б.Н.Рыженко, Л.И.Матвеева, В.И.Лялько, В.М.Швец. М.: Недра, 1988, 254 с.

3. Семячков А.И. Статистические методы в гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. Семячков А.И., Почечун В.А., Хисматулин Д.Р. Изд-во УГГУ. Екатеринбург, 2005

4. Гавич И.К. Методы обработки гидрогеологической информации с вариантами задач. Гавич И.К., Семёнова С.М., Швец В.М. М., «Высшая школа», 1981 4. Недра России. Т 2. Экология геологической среды // под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смыслова. СПб–М., 2002.

5. Недра России. Т 2. Экология геологической среды // под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смыслова. СПб–М., 2002.

Дополнительная:

6. Судариков С.М. Статистические методы обработки экспериментальных данных. Методические указания к лабораторным занятиям. СПб, СПГГУ, 2011. – 37 с.

7. Судариков С.М., Каминский Д.В., Наркевский Е.В. Гидротермальные ореолы рассеяния в природных водах Срединно-Атлантического хребта. – СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С.Граммберга», 2014. – 161 с.