

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

**Декан Геологического факультета
академик**

_____ /Д.Ю.Пушаровский/
« ___ » _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Основы гидрогеодинамического моделирования

Автор-составитель: Поздняков С.П.

Уровень высшего образования:

Магистратура (ММ)

Направление подготовки:

05.04.01 Геология

Магистерская программа:

Гидрогеология, инженерная геология, геокриология

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Учебно-методическим Советом Геологического факультета

(протокол № _____, _____)

Москва 20__

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год приема на обучение – 2018.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Цель курса – изучение теоретических основ и методов построения математических моделей потоков подземных вод и формирование устойчивого комплекса базовых знаний, умений и навыков в области моделировании геофильтрации.

Задачи:

- получить теоретические представления о моделировании геофильтрационных процессов, как методе решения практических гидрогеологических задач использования и охраны подземных вод;
- освоить основные принципы геофильтрационной и вычислительной схематизации и методы численного конечно-разностного моделирования;
- изучить методики численного моделирования геофильтрации в постановках, отражающих различные условия формирования потоков подземных вод;
- получить навыки работы с современным программным обеспечением для моделирования геофильтрации и решения на нем практических гидрогеологических задач.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, курс – II, семестр – 3.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

«Высшая математика», «Физика», «Уравнения математической физики», «Общая геология», «Гидрогеология». Дисциплина необходима для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-3 Способность применять на практике знания фундаментальных и прикладных 3 разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки

ОПК-4 Способность использовать современные вычислительные методы и компьютерные технологии для решения задач профессиональной деятельности

ПК-1 Способность самостоятельно проводить научные исследования с помощью современного оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта

ПК-2 Способность создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области геологии

ПК-5 Способность использовать современные методы обработки и интерпретации комплексной информации для решения производственных задач

СПК-1 Способность систематизировать, обобщать и анализировать результаты региональных гидрогеологических исследований формирования естественных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

Знать – принципы и методы численного конечно-разностного моделирования геофильтрации, основные этапы и методику создания геофильтрационных моделей;

Уметь – решать с помощью методов геофильтрационного моделирования практически важные задачи прогнозирования изменения режима и баланса подземных вод при воздействии на них инженерных мероприятий;

Владеть – навыками создания геофильтрационных моделей гидрогеологических объектов при помощи специализированных программных пакетов моделирования геофильтрации.

4. Формат обучения – лекции, семинары, практические занятия и самостоятельная работа

5. Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, **144** академических часа, в том числе,

14 часов – лекции, 44 – семинары, 12 часов – занятия практического типа, 74 часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен

6. Краткое содержание дисциплины

«Основы гидрогеодинамического моделирования» – курс, включающий основные базовые понятия гидрогеодинамики и современные методы решения гидрогеодинамических задач с помощью моделирования. Курс начинается с изучения основных моделей геофильтрации и методов геофильтрационной схематизации. Затем применительно к задачам геофильтрации рассматривается метод конечных разностей, методика моделирования прямых геофильтрационных задач и подходы к калибровке геофильтрационных моделей. В завершающей части курса анализируются вопросы расчета конвективного переноса загрязнения в подземных водах, выполняемые с использованием полей скоростей потоков подземных вод. Лекционный курс дополняется семинарами, лабораторными занятиями для закрепления навыков разработки геофильтрационных моделей и выполнения с их помощью прогнозных расчетов по оценке влияния инженерных воздействий (водоотбора) на режим и баланс подземных вод.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия практического типа	Всего	
Раздел 1. Теоретические модели геофильтрационных процессов		4	2		6	Изучение методов построения теоретических моделей геофильтрации, 18 часов.
Раздел 2. Основы конечно-разностных методов моделирования геофильтрации		2	10	2	14	Разработка учебной стационарной и нестационарной моделей планового потока в среде Processing Modflow, 8 часов.
Раздел 3 Численное моделирование прямых задач и подходы к калибровке геофильтрационных моделей		6	30	8	44	Разработка модели потока подземных вод реального объекта для обоснования водозабора, 20 часов
Раздел 4. Расчет конвективного переноса мигрантов в фильтрационном потоке		2	2	2	6	Расчет области захвата водозабора. Написание отчета по разработанной модели 18 часов.
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	10					10
Итого	144	70				74

Содержание разделов дисциплины, изучаемых самостоятельно:

1. Теоретические модели геофильтрационных процессов

Поток подземных вод, представление о режиме, структуре течения и балансе. Типизация потоков подземных вод по условиям залегания водоносных толщ. Геофильтрационная схематизация, ее этапы - режим, пространственная структура, границы, геофильтрационные параметры. Теоретическая модель стационарной и нестационарной геофильтрации (уравнения неразрывности, движения, состояния). Модель планового и плано-пространственного потока для напорного и безнапорного верхнего пласта. Граничные и начальные условия геофильтрационных потоков.

2. Основы конечно-разностных методов моделирования геофильтрации.

Принципы численной дискретизации дифференциальных уравнений геофильтрации. Конечно-разностная сетка. Пространственная и временная аппроксимация. Порядок аппроксимации. Явная и неявная схема. Система сеточных геофильтрационных уравнений. Аппроксимация граничных условий. Методы решения систем сеточных уравнений. Нелинейные задачи геофильтрации.

3. Численное моделирование прямых задач и подходы к калибровке геофильтрационных моделей

Виды численных конечно-разностных сеток, используемых при решении детальных, локальных и региональных задач. Структурированные и неструктурированные сетки. Способы моделирования разделяющих слоев. Особенности задания внешних граничных условий моделей. Особенности аппроксимации скважин на численных моделях. Аппроксимация водотоков и водоемов, дренажей. Аппроксимация испарения подземных вод. Выбор временной дискретизации для различных типов прогнозных задач. Аппроксимация переменных во времени граничных условий. Особенности моделирования откачек на прямоугольных сетках. Моделирование конвективного переноса на основе решения задач геофильтрации. Программа MODFLOW и ее характеристики

4. Расчет конвективного переноса мигрантов в фильтрационном потоке

Скорость конвективного переноса сорбируемого мигранта. Аналитический расчет области захвата скважиной в естественном потоке. Расчет траекторий движения частиц и линий тока по скоростям фильтрации на сеточных моделях. Программы RMPATH, MT3Dms.

Содержание практических занятий:

1. Знакомство с системой моделирования Processing Modflow путем разработки стационарной и нестационарной моделей планового потока
2. Разработка геофильтрационной модели потока подземных вод к водозабору.
3. Калибровка геофильтрационной модели.
4. Прогнозное численное моделирование водоотбора
5. Расчет траекторий движения и области захвата на численной модели

Рекомендуемые образовательные технологии

Учебный материал подаётся с использованием современных средств визуализации и анимированных презентаций.

В процессе проведения семинарских и лабораторных занятий применяются методы развивающего обучения в интерактивной форме. На лабораторных занятиях студенты самостоятельно, под контролем преподавателя осваивают программы моделирования геофильтрации. Лабораторные занятия проводятся в специализированной лаборатории моделирования, оборудованной компьютерами с установленным лицензионным программным обеспечением для геофильтрационного моделирования по группам (подгруппам), численностью не более 10-12 чел.

Самостоятельная работа студентов заключается в проработке отдельных разделов курса, выполнение моделирования задач, начатых на лабораторных занятиях и составлении пояснительной записки к ним при дистанционном сопровождении (консультациях) преподавателя.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется посредством опросов на практических занятиях, собеседований по итогам самостоятельной работы.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра студентами сдаются в указанный контрольный срок расчетно-графические работы, а преподавателями проводятся и текущие опросы.

Примерный перечень вопросов для текущего опроса:

1. Написать дифференциальные уравнения геофильтрации для одномерного, планового, профильного, планово-пространственного и пространственного потоков (одного из) и объяснить входящие в него параметры.
2. Рассказать постановку задач гидрогеодинамического моделирования, объяснив отличие терминов: прогноз, эпигноз, верификация и калибрация моделей, разведочное, имитационное моделирование.
3. Объяснить сущность метода конечных разностей (МКР)
4. Что такое конечно-разностная сетка
5. Что такое аппроксимация уравнения геофильтрации с помощью МКР.
6. Что такое система сеточных уравнений геофильтрации
7. Как происходит аппроксимация внутренних граничных условий и источников-стоков (на примере водотоков).
8. В чем отличие прямых и итерационных методов решения системы сеточных уравнений
9. Привести пример нелинейной задачи геофильтрации.
10. В чем проблема аппроксимации скважин на сеточных моделях
11. Почему программа MODFLOW широко используется для моделирования геофильтрации
12. Что такое некорректная задача
13. Почему есть мнение, что калибрация моделей – это искусство
14. Что лучше на Ваш взгляд – ручные или автоматизированные методы калибрации
15. Почему скорость движения фронта сорбируемого мигранта ниже скорости движения фронта несорбируемого мигранта?
16. В чем суть метода Поллака для расчета траекторий движения частиц и линий тока по скоростям фильтрации на сеточных моделях
17. Какую информацию программы численного моделирования конвективного переноса получают от программ моделирования геофильтрации (на примере RMPATH и MODFLOW)?

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:

1. Основной закон фильтрации (закон Дарси) и область его применения.
2. Поток подземных вод, представление о режиме, структуре течения и балансе. Типизация потоков подземных вод по условиям залегания водоносных толщ.

3. Геофильтрационная схематизация, ее этапы - режим, пространственная структура, границы, геофильтрационные параметры
4. Теоретическая модель стационарной геофильтрации (уравнения неразрывности, движения, состояния).
5. Вывод уравнений плановой стационарной фильтрации для напорного и безнапорного потоков.
6. Нестационарная фильтрация. Дифференциальное уравнение нестационарного планового безнапорного и напорного потоков
7. Принципы численной дискретизации дифференциальных уравнений геофильтрации. Конечно-разностная сетка. Пространственная и временная аппроксимация.
8. Система сеточных геофильтрационных уравнений. Явная и неявная схема Аппроксимация граничных условий на сеточных моделях.
9. Методы решения систем сеточных уравнений.
10. Нелинейные задачи геофильтрации. Особенности их аппроксимации на сеточных моделях
11. Виды численных конечно-разностных сеток, используемых при решении детальных, локальных и региональных задач. Способы моделирования разделяющих слоев.
12. Аппроксимация скважин на численных моделях. Расчет дополнительного понижения в скважине
13. Аппроксимация водотоков и водоемов, дрен. Аппроксимация испарения подземных вод.
14. Выбор временной дискретизации для различных типов прогнозных задач. Аппроксимация переменных во времени граничных условий.
15. Особенности моделирования откачек на прямоугольных сетках.
16. Понятие обратной задачи геофильтрации. Некорректность решения.
17. Понятие калибровки геофильтрационных моделей. Общая стратегия калибровки. Функция качества.
18. «Ручные» и автоматизированные способы калибровки. Чувствительность модели к параметрам.
19. Выражение для скорости движения фронта сорбируемого мигранта
20. Расчет области захвата скважины в естественном потоке подземных вод аналитически
21. Расчет траекторий движения частиц и линий тока по скоростям фильтрации на сеточных моделях. Программа РМРАТН

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: принципы и методы численного конечно-разностного моделирования геофильтрации, основные этапы и методика создания геофильтрационных моделей	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: решать с помощью методов геофильтрационного моделирования практически важные	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умения	Успешное умение проводить геофильтрационную и

задачи прогнозирования изменения режима и баланса подземных вод при воздействии на них инженерных мероприятий		неточности не принципиального характера	проводить геофильтрационную и вычислительную схематизацию и геофильтрационное моделирование	вычислительную схематизацию и геофильтрационное моделирование, расчеты траекторий и линий тока, оценку областей захвата скважинами,
Владения: навыками создания геофильтрационных моделей гидрогеологических объектов при помощи специализированных программных пакетов моделирования геофильтрации	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой геофильтрационного моделирования с использованием прикладных пакетов программ моделирования геофильтрации	В целом сформированные навыки владения методикой геофильтрационного моделирования с использованием прикладных пакетов программ моделирования геофильтрации	Владение современным терминологическим аппаратом моделирования, методикой геофильтрационной и вычислительной схематизации и построения моделей. Умение решать при помощи геофильтрационного моделирования прикладные задачи гидрогеологических прогнозов.

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы

а) основная литература:

1. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика: учебник - М.: Изд-во КДУ, 2009. - 334 с.
2. Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ. Учебное пособие (под ред. Штенгелова Р.С.). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. – 335 с.

б) дополнительная литература:

- 1 Василевский Ю.В, Капырин И.В. Практикум по современным вычислительным технологиям и основам математического моделирования. М.: МАКС Пресс, 2009.
- 2 Chiang WH and Kinzelbach W, 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. First Edition. Springer Berlin Heidelberg New York. 2001, ISBN 3-540 67744-5, 346 pp

- 3 Hill. M.C. and Tiedeman, C.R., 2007, Effective model calibration, with analysis of data, sensitivities, predictions, and uncertainty: Wiley and Sons, New York, New York, 455 p.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения

Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint, Processing Modflow X

Г) Материально-техническое обеспечение: персональные компьютеры, белая доска, мультимедийный проектор, выход в Интернет

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватель: Поздняков С.П., Самарцев В.Н.

11. Автор программы: Поздняков С.П.