

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

Моделирование геомиграции

Автор-составитель: доц. А.В. Расторгуев

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

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 (годы) приема на обучение – 2019.

© 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 " Моделирование геомиграции " – развитие у обучающегося устойчивого, логически связанного, комплекса знаний о процессах и методах моделирования миграции загрязняющих веществ в подземных водоносных горизонтах и зоне аэрации .

Задачи: изучение теоретических основ геомиграционных моделей, ознакомление с аналитическими и численно-аналитическими методами решения задач геомиграции, освоение основных численных методов решения задач геомиграции и знакомство с современным программным обеспечением, получение навыков геомиграционной схематизации, решение задачи геомиграции приближенной к реальным условиям.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Вариативная часть, общепрофессиональные дисциплины по выбору, обязательный спецкурс, курс – IV семестр – 8.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия

Освоение дисциплин «Общая геология», «Общая химия», «Химия физическая, коллоидная», « Высшая математика», «Информатика», «Физика», «Уравнения математической физики», «Гидрогеология», «Гидрогеохимия», «Гидрогеодинамика», «Гидрогеодинамическое моделирование».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для дисциплин «Нефтегазовая гидрогеодинамика», «Физико-химическая гидрогеодинамика», а также 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.Б Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично),
- ОПК-4.Б Способность применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественнонаучного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (формируется частично),
- ПК-1.Б Способность самостоятельно осуществлять сбор геологической информации, использовать в научно-исследовательской деятельности навыки полевых/лабораторных исследований (в соответствии с профилем подготовки)
- ПК-2.Б Способность использовать знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности (формируется частично).
- ПК-6.Б Способность проводить геологические наблюдения и выполнять их документацию на объекте изучения; осуществлять привязку своих наблюдений на местности, составлять схемы, карты, планы, разрезы геологического содержания.
- ПК-7.Б Готовность применять на практике базовые общепрофессиональные знания и навыки при решении производственных задач (в соответствии с профилем подготовки) (формируется частично)

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Знать: современные модели миграции вещества в водоносных горизонтах и программные коды их реализующие.

Уметь: решать практически важные задачи прогноза распространения загрязняющих веществ в подземной гидросфере.

Владеть: приемами обоснования мероприятий по локализации распространения загрязняющих веществ в подземных водах.

4. ФОРМАТ ОБУЧЕНИЯ

Лекционные занятия.

5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем составляет 1 з.е., в том числе 22 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (22 часа – занятий лекционного типа), 14 академических часов на самостоятельную работу, в том числе 2 час групповые консультации и 11 часов мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации. Форма промежуточной аттестации – экзамен

6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (АННОТАЦИЯ):

Курс направлен на изучение процессов транспортной миграция вещества в подземных водах. Среди механизмов определяющих транспортную миграцию в курсе рассмотрены перенос потоком (адвекции), гидродинамическая дисперсия, распад и равновесная сорбция. Большая часть курса направлена на овладения и понимание методов решения задач геомиграции. Изучаются аналитические, численно-аналитические и численные методы. При этом наибольшее внимание уделено численным методам заложенным программные пакеты, которые широко используются в настоящее время и основаны на ортогональной дискретизации. Помимо этого в курсе предполагается уделить внимание решению задач миграции на неортогональных сетках, переносу загрязняющих веществ через зону аэрации и решению задач плотностной конвекции. Для улучшения понимания в курсе предусмотрены самостоятельные практические занятия для решение задач геомиграции приближенных к реальным условиям.

Таблица 1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Основные теоретические положения		2	0	0	2	
Аналитические методы решение задач геомиграции и решение задачи трехмерной дисперсии с помощью кода ATRANS		2	0	0	2	расчетно-графическая работа 1 час
Численно-аналитические методы решения задач геомиграции . Программа для расчета зон санитарной охраны водозаборов подземных вод ZONE. Решение задачи перехвата загрязнения с территории свалки с помощью программы GFLOW.		2	0	0	2	расчетно-графическая работа 1 час
Численные методы решения задач геомиграции на ортогональных сетках. Эйлеровские методы. Программный код MT3DMS.		2	0	0	2	расчетно-графическая работа 1 час
Численные методы решения задач геомиграции на ортогональных сетках. Лагранжевы методы. Программный код ASMWIN.		2	0	0	2	
Численные методы решения задач геомиграции на ортогональных сетках. Эйлеровско-лагранжевые методы .		2	0	0	2	расчетно-графическая работа 1 час

Программный код MT3DMS						
Решение задачи геомиграции с территории свалки на основе кода MT3DMS		2	0	0	2	расчетно-графическая работа 2 часа
Численные методы решения задач геомиграции на неортогональных сетках . Методы конечных элементов (МКЭ) и конечных объемов (МКО) и программы коды Feflow и GeRa их реализующие.		2	0	0	2	
Решение задачи геомиграции с территории свалки на основе кода Feflow		2	0	0	2	расчетно-графическая работа 2 часа
Решение задачи миграции загрязняющих веществ через зону аэрации. Решение задачи миграции при наличии капиллярного барьера на основе кода VS2D		2	0	0	2	расчетно-графическая работа 1 часа
Численное решение задач геомиграции с учетом плотностной конвекции. Решение задачи Генри на основе кода SEAWAT		2	0	0	2	расчетно-графическая работа 1 час
Промежуточная аттестация – экзамен						4
Итого	36	22	0		22	14

6.2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс "Моделирование геомиграции " состоит из следующих разделов:

- 1 Основные теоретические положения
- 1.1 Уравнение конвективной (адвективной) дисперсии в системе координат ориентированной вдоль потока
- 1.2 Уравнение конвективной дисперсии в Декартовой системе координат
- 1.2.1 Дисперсионный поток в двумерном случае. Тензор гидродинамической дисперсии
- 1.2.2 Уравнение конвективной дисперсии в трехмерном случае
- 2 Программные коды для решения задач геомиграции
- 3 Аналитические и численно-аналитические методы моделирования геомиграции
- 3.1 Аналитическое решение трехмерной миграции от прямоугольного источника с учетом сорбции и распада
- 4 Численно-аналитические методы
- 4.1 Численно-аналитический подход для расчета траекторий
- 4.2 Численно-аналитический подход для сеточного моделирования
- 4.3 Метод аналитических элементов
- 4.4 Основные положения метода аналитических элементов МАЭ
- 5 Численное решение задач геомиграции на основе прямоугольной дискретизации
- 6 Численное решение задач геомиграции
- 6.1 Эйлеровские методы решения задач геомиграции
- 6.2 Эйлеровские монотонные методы повышенной точности TVD
- 6.3 Лагранжевые методы.
- 6.4 Эйлеровско-лагранжевые методы
- 6.4.1 Решение уравнения переноса метод характеристик
- 6.4.2 Решение переноса модифицированным методом характеристик
- 6.4.3 Расчет перемещения частиц.
- 7 Решение задачи тестовой миграционной задачи с помощью программы MT3DMS
- 8 Методы решения задач геомиграции с использованием неортогональной дискретизации.
- 8.1 Метод конечных элементов
- 8.2 Метод конечных объемов
- 9 Решение практической задачи
- 9.1 Результаты решения практической задачи с помощью программы FEFLOW
- 10 Геомиграция в насыщенно-ненасыщенной области
- 10.1 Капиллярные барьеры
- 10.2 Двумерная фильтрация и перенос через зону аэрации из поверхностного хранилища отходов
- 11 Моделирование плотностной конвекции
- 11.1 Моделирование задачи Hengy об интрузии соленых вод

6.3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ (ЛАБОРАТОРНЫХ) ЗАНЯТИЙ

Лабораторных занятий нет

6.4. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Применяются образовательных технологии в форме лекций и практических работ. Учебный материал подается с использованием современных средств визуализации.

Для моделирования используются программы ATRANS,GFLOW,PMWIN, Feflow, GeRa, VS2D,SEAWATER.

Самостоятельная работа студентов заключается в выполнении домашних заданий, самостоятельном изучении ряда вопросов с составлением отчетов.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ФОС) ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных работ. Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы и работы.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ:

- Конвекция(адвекция)
- Молекулярная диффузия
- Механическая дисперсия
- Продольная и поперечная дисперсивности
- Коэффициент сорбционного распределения
- Фактор замедления
- Распад, деструкция .
- Алгоритмы решения задач геомиграции методом конечных разностей.
- Алгоритм решения задач геомиграции методом конечных элементов и конечных объемов.

РАСЧЕТНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ:

1.С помощью программы ATRANS рассчитать миграцию загрязняющих веществ от хранилища в водоносном горизонте мощностью 10 м. При расчетах оценить время миграции до реки и дать распространение ореола на моменты продвижение фронта к реке. Коэффициент фильтрации 10 м/сут, активная пористость 0.2, продольная дисперсивность 0.01 размера расчетной области, поперечные депрессивности по горизонтали и вертикали на один и два порядка меньше соответственно. Расчеты производятся для источника :

- a. Полностью перекрывающего горизонт бесконечной ширины (одномерный случай)
- б. Полностью перекрывающего горизонт и шириной 20 м (двумерный случай)
- с. Вскрывающего горизонт на 3 м и шириной 20 м (трехмерный случай)

2. Методом аналитических элементов рассчитать структуру потока подземных вод в надюрском водоносном горизонте и мероприятия по перехвату загрязнения вблизи свалки.

Положение водоупора -114 м, коэффициент фильтрации 6 м/сут, мощность 11 м, питание горизонта 0.00001 м/сут, прилагается файл с картой

3. С помощью программы PMWIN- MT3DMS рассчитать миграцию загрязняющих веществ от хранилища в водоносном горизонте мощностью 10 м. При расчетах оценить время миграции до реки и дать распространение ореола на моменты продвижение фронта к реке. Коэффициент фильтрации 10 м/сут, активная пористость 0.2, продольная дисперсивность 0.01 размера расчетной области, поперечные депрессивности по горизонтали и вертикали на один и два порядка меньше соответственно. При расчетах использовать эйлеровские и эйлеровско-лагранжевые методы. Расчеты производятся для источника :

- a) Полностью перекрывающего горизонт бесконечной ширины (одномерный случай)
- б) Полностью перекрывающего горизонт и шириной 20 м (двумерный случай)
- с) Вскрывающего горизонт на 1/3 и шириной 20 м (трехмерный случай)

d) Провести сопоставление с аналитическими расчетами (ATRANS)

4. Используя коды Feflow и PMWIN провести расчет миграции со свалки к водозаборной скважине расположенной у реки.

Условия задачи

Режим фильтрации :

-стационарный для фильтрации

-нестационарный для переноса

2. Структура потока :

Безнапорный плановый, подошва горизонта

на отметке 130 м,

кровля на отметке 160 м.

3. Границы модели

В соответствии со схемой. Загрязняющие вещества

Поступают со свалки в инфильтрационном питании

С концентрацией 1 г/м³

4. Параметры

Коэффициент фильтрации 5 м/сут,

Инфильтрационное питание на свалке 0.0005 м/сут, вне свалки 0.0002 м/сут

Пористость 0.3

Продольная дисперсивность 5 м

Поперечная дисперсивность 0.5 м

Область 1200м X 1000м

Сетка(при решении задач в PMWIN) равномерная, ячейки 20м

Координаты верхнего левого

угла модели $x=400520$, $y=10610$,

Угол поворота 26.75 град

$x_1=400000$, $x_2= 402750$

$Y_1= 9500$, $Y_2= 11500$

5. Решение задачи миграции через зону аэрации на двумерной профильной модели с помощью кода VS2DT. Размеры расчетной области 6,47 м x 4,06 м. Сетка реализованная кодом VS2DT 44 x 32 . Размеры ячеек 0,13 м по вертикали и 0,15 м по горизонтали. Зона аэрации сложена неоднородными породами. В основном толщей хорошо проницаемых песков внутри которой наклонно залегает линза менее проницаемых пылеватых пород. Остальные данные прилагаются в файле.

6.Решение задачи Генри об интрузии морских вод. Данные в файле

7.2. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ:

1. Конвекция(адвекция). Гидродинамическая дисперсия. Молекулярная диффузия .Механическая дисперсия. Продольная и поперечная дисперсивности. Сорбция . Коэффициент сорбционного распределения. Фактор замедления. Распад,деструкция .
2. Вывод тензора гидродинамической дисперсии для двумерного случая.
3. Уравнения конвективно-дисперсионного массопереноса.
4. Аналитические методы решения задач геомиграции . Математическая постановка. Трехмерная дисперсия в одномерном потоке с учетом равновесной сорбции и распада(ATRANS)Методы решения.
5. Численно-аналитическое решение задачи конвективного переноса. Расчеты траекторий нас основе скоростей фильтрации полученных аналитически.
6. Основные положения метода аналитических элементов. Расчеты конвективного переноса для территории свалки.
7. Конечно-разностное представление уравнения конвективно-дисперсионного переноса. Сеточные числа Пекле и Куранта.
8. Эйлеровские методы решения конвективно-дисперсионного переноса. Аппроксимация конвективного переноса. Центральные разности. Направленные разности. Аппроксимация временной производной.
9. Численная дисперсия. Метод TVD.
10. Численная дисперсия. Лагранжевы методы. Метод случайных блужданий.
11. Основные положения Эйлеровско-Лагранжевых методов(метод характеристик, модифицированный метод характеристик).
12. Принципы аппроксимации конвективной дисперсии методом конечных элементов (МКЭ).
13. Принципы аппроксимации конвективной дисперсии методом конечных объемов (МКО).
14. Постановка и решение задачи миграции с территории свалки
15. Решение задач геомиграции в зоне неполного насыщения .
16. Плотностная конвекция. Задача Генри.

Таблица 2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
<u>Знания:</u> Современные модели геомиграции в областях полного и неполного насыщения. Современные аналитические, численно-аналитические и численные методы решения задач геомиграции.	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематическое знание
<u>Умения:</u> Проводить геомиграционную схематизацию, обобщение и подготовка данных для реализации геомиграционных прогнозов	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
<u>Владения:</u> Современные программные средства решения задач геомиграции	Представления о существующих программных средствах отсутствуют	Фрагментарное владение отдельными программными средствами	В целом навыки сформированы, некоторые программные средства освоены недостаточно	Владение приемами и методами решения задач геомиграции на основе современных программных средств.

8. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

А) ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

Основная литература:

- Лехов А.В. Физико-химическая гидрогеодинамика. М., Изд-во КДУ, 2010. – 500 с.
- Румынин В.Г. Геомиграционные модели в гидрогеологии. С-П., Изд-во НАУКА, 2011. – 1158с.
- Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод., М., Недра, 1986. – 208с
- Haitjema, H.M. (1995). Analytic Element Modeling of Groundwater Flow. Academic Press, Inc
- Kinzelbach.V. Groundwater modeling: an introduction with sample programs in BASIC, Amsterdam, Elsevier,. 1986. – 333с.
- Zheng C. and Bennett G.D. Applied contaminant. transport modeling. Second Edition. A JOHN WILEY & SONS INC., 2002, 621p.

Дополнительная литература:

- Василевский Ю.В, Капырин И.В. Практикум по современным вычислительным технологиям и основам математического моделирования. М.: МАКС Пресс, 2009. – 58с.

- Diersch, H.J. FEFLOW: Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Springer Science & Business Media, Berlin. 996 p. 2013
- Healy, R.W., 1990, Simulation of solute transport in variably saturated porous media with supplemental information on modifications to the U.S. Geological Survey's computer program VS2D: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 90-4025, 125 p.
- Neville, C.J., 2005: ATRANS: Analytical Solutions for Three-Dimensional Solute Transport from a Patch Source, Version 2, S.S. Papadopoulos & Associates, Inc., Waterloo, Ontario. [<http://www.ssipa.com/Software/atrans.shtml>]

Б) ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

- Программа для аналитического решения трехмерной дисперсии и одномерной конвекции (адвекции) ATRANS
- Программа для численно-аналитического решения фильтрации и конвективного (адвективного) переноса GFLOW
- Программа моделирования гидрогеологических процессов методом конечных разностей Processing Modflow,
- Программа моделирования гидрогеологических процессов методом конечных элементов Feflow,
- Программа моделирования гидрогеологических процессов методом конечных объемов GeRa
- Программа моделирования гидрогеологических процессов в области полного насыщения и зоне аэрации методом конечных разностей VS2D
- Программы представления отчетов Microsoft Office.

В) ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

Базы данных входят в состав используемых программ

Г) ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

- ATRANS. Neville C.J., – <http://www.ssipa.com/Software/atrans.shtml>
- GFLOW Haitjema, H.M. – <https://www.haitjema.com/>
- Processing Modflow. An Integrated Modeling Environment for the Simulation of Groundwater Flow, Transport and Reactive Processes., 2012. – <https://www.simcore.com/files/pm/v8/pm8.pdf>.
- Feflow Diersch, H.J. <https://www.mikepoweredbydhi.com/download/mike-2020/feeflow?ref={60956B6F-0D4D-4843-81EF-F52BA72E6650}>
- GeRa <http://proryv2020.ru/kod-gera/>

Д) МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЕ

а) помещения – аудитория, рассчитанная на группу из 15 учащихся.

б) оборудование – мультимедийный проектор, компьютеры – 8 шт, доска, мел или маркеры.

9. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

русский.

10. ПРЕПОДАВАТЕЛИ

Расторгуев А.В.

11. АВТОР ПРОГРАММЫ

Расторгуев А.В.

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, кафедра Гидрогеологии,

Доцент А.В. Расторгуев. 8-495-939-54-98; 8-916-533-69-74; alvr9@mail.ru