

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

УТВЕРЖДАЮ  
и.о. декана Геологического факультета  
чл.-корр. РАН

\_\_\_\_\_/Н. Н. Еремин/

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Модели гидрогеологических процессов**

Автор-составитель: Поздняков С. П., Маслов А. А.

**Уровень высшего образования:**  
*Бакалавриат*

**Направление подготовки:**  
**05.03.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**Экологическая геология**

Форма обучения:  
*Очная*

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методическим Советом Геологического факультета  
(протокол № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

Москва

---

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*).

Год (годы) приема на обучение: 2022

© 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

**Целью** курса "Модели гидрогеологических процессов" является формирование устойчивого комплекса базовых знаний о количественных законах движения подземных вод - геофильтрации, тепломассопереноса в них и параметрах водовмещающих сред, определяющих процессы геофильтрации и тепломассопереноса в подземных водах.

### Задачи:

- получить теоретические представления о количественных законах движения подземных вод и математических моделях геофильтрационных процессов;
- получить знания об основных процессах тепломассопереноса в подземных водах и математических моделях, описывающих эти процессы;
- овладеть навыками геофильтрационной схематизации и методами геофильтрационных расчетов;
- изучить методы оценки геофильтрационных параметров и овладеть навыками интерпретации опытных геофильтрационных опробований;
- освоить современные профессиональные гидрогеодинамические понятия и термины.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, курс – III, семестр – 6.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Математический анализ», «Физика», «Общая геология», «Историческая геология», «Структурная геология и геокартирование», «Литология», «Геология четвертичных образований»; «Геофизические методы исследований», «Гидрогеология».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для дисциплин магистерской программы «Гидрогеология», а также для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

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

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
ОПК-1.Б Способен применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (формируется частично).	<b>Б-ОПК-1.1.</b> Использует базовые знания фундаментальных разделов наук естественно-научного и математического циклов в профессиональной деятельности	<b>Знать:</b> – основные законы движения подземных вод, переноса вещества и тепла в них и основанные на этих законах теоретические модели геофильтрации и геомиграции
ОПК-2.Б. Способен применять теоретические основы фундаментальных геологических дисциплин при решении задач профессиональной	<b>Б-ОПК-2.1.</b> Использует теоретические знания о закономерностях и особенностях геологических процессов для решения	<b>Знать:</b> – принципы геофильтрационной схематизации <b>Владеть:</b> навыками анализа гидрогеологической информации для проведения геофильтрационной схематизации гидрогеологических условий

деятельности (формируется частично).	профессиональных задач	
ОПК-3.Б Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично)	<b>Б.ОПК-3. И-3.</b> Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки	<b>Знать:</b> – методы геофильтрационных расчетов и моделирования геофильтрации <b>Уметь:</b> проводить геофильтрационную и вычислительную схематизацию и выполнять геофильтрационные расчеты и моделирование для простых типовых схем напорных и безнапорных потоков подземных вод
ПК-5.Б Готов к работе на современных полевых/лабораторных приборах, установках и оборудовании в соответствии с профилем подготовки	<b>Б.ОПК-3. И-2.</b> Владеет базовыми навыками получения информации (полевой, камеральной, лабораторной) для решения стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки	<b>Знать:</b> – современные методы лабораторных и полевых гидрогеологических исследований для оценки геофильтрационных параметров <b>Уметь:</b> – планировать и осуществлять лабораторные и полевые опыты для оценки геофильтрационных параметров <b>Владеть:</b> – основными методами обработки результатов лабораторных и полевых опытов для оценки геофильтрационных параметров
СПК-1.Б Способен оценивать гидрогеологические условия территорий и их возможные изменения под влиянием различных видов хозяйственной деятельности (формируется частично)	<b>Б-СПК-1.1</b> Владеет навыками сбора, систематизации и интерпретации данных гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических съёмки, исследований и изысканий	<b>Знать:</b> – принципы построения расчетных геофильтрационных схем на основе анализа гидрогеологических карт и разрезов, результатов опытно-фильтрационных работ <b>Уметь:</b> – оценивать с помощью геофильтрационных расчетов и моделирования изменения режима и баланса подземных вод под влиянием типовых техногенных воздействий, связанных с отбором и пополнением подземных вод

**4. Объем дисциплины (модуля)** составляет 3 зачетные единицы или 108 часов в том числе 65 часов аудиторных занятий (26 часов лекций, 39 часов семинаров) и 43 часа внеаудиторных самостоятельных занятий студента. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

**5. Формат обучения** – лекции, семинары.

**6. Содержание дисциплины (модуля)**, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

**Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

Модели гидрогеологических процессов (гидрогеодинамика) - важная часть гидрогеологии, изучающая количественные закономерности геофильтрации - движения подземных вод и переноса ими тепла и растворенных веществ - геомиграции. Гидрогеодинамика, как наука, имеет двойственный характер – это часть гидрогеологии, как науки о Земле, но использующая вместе с тем подходы и математические методы раздела Механики - гидродинамики в качестве инструмента исследования. Это определяет особенности курса, который включает разделы гидродинамического направления, рассматривающие физические основы законов фильтрации и теоретические модели геофильтрационных процессов в пористых и трещиноватых средах, основанные на уравнениях неразрывности, состояния и движения жидкостей и переноса примесей в них. Для связи гидродинамических методов и подходов с практическими задачами гидрогеологии в курсе уделено особое внимание применению теоретических гидрогеомеханических моделей к реальным неоднородным геофильтрационным средам путем введения понятий, методов и подходов к геофильтрационной схематизации объектов гидрогеологических исследований. В завершающих разделах курса даются основные представления о методах геофильтрационных расчетов для решения прогнозных задач гидрогеологических исследований, рассматриваются вопросы интерпретации опытно-фильтрационных опробований и изучения процессов тепломассопереноса в потоках подземных вод. Лекционный курс дополняется семинарами с практическим решением показательных задач для закрепления навыков геофильтрационных расчетов и интерпретации опытно-фильтрационных работ.

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			Расчетно-графическая работа	Подготовка контрольной работы	Всего
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего			
Введение. Модели гидрогеологических процессов (Гидрогеодинамика), связь с гидрогеологией и гидродинамикой	<b>2</b>	2	-	<b>2</b>			
Раздел 1. Физико-математические основы теории геофильтрации	<b>8</b>	4	2	<b>6</b>		2	<b>2</b>
Раздел 2. Геофильтрационная схематизация и модели потоков подземных вод	<b>22</b>	4	12	<b>16</b>	6		<b>6</b>
Раздел 3. Основы гидрогеодинамических расчетов и моделирования	<b>30</b>	6	12	<b>18</b>	12		<b>12</b>
Раздел 4. Методы гидрогеодинамических исследований для оценки геофильтрационных параметров	<b>34</b>	6	10	<b>16</b>	18		<b>18</b>
Раздел 5. Тепломассоперенос в подземных водах	<b>7</b>	4	3	<b>7</b>			
Промежуточная аттестация - экзамен	<b>5</b>	<i>экзамен</i>			<b>5</b>		
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>65</b>			<b>43</b>		

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **Содержание лекционных и семинарских занятий**

#### **Введение**

Предмет курса Модели гидрогеологических процессов (гидрогеодинамика), связь с науками геологического и физико-математического циклов. Развитие гидрогеодинамики, как части гидрогеологии.

#### **1. Физико-математические основы теории фильтрации**

1.1. Вода в горных породах, физические свойства и фазовый состав. Виды течения водных потоков - ламинарное, турбулентное, вязко-пластичное.

1.2. Закон Ньютона для вязкого и вязкопластичного течения. Силы, обуславливающие движение флюидов, энергетические характеристики водных потоков (напор, потенциал, фильтрационная сила). Фильтрация и геофильтрация как основной вид движения подземных вод.

1.3. Основной закон фильтрации (закон Дарси). Обоснование выражений для коэффициента фильтрации согласно моделям поровых каналов и трещин, коэффициент проницаемости. Область применения основного закона фильтрации, отклонения от него при проявлении турбулентного и вязко-пластичного режимов движения воды.

1.4. Гравитационная емкость водовмещающих пород. Характеристика напряженного состояния водонасыщенной породы, соотношение Терцаги. Упругая емкость водовмещающих пород.

#### **2. Геофильтрационная схематизация и модели потоков подземных вод**

2.1. Поток подземных вод, представление о режиме, структуре течения и балансе. Типизация потоков подземных вод по условиям залегания водоносных толщ.

2.2. Геофильтрационная схематизация, ее этапы - режим, пространственная структура, границы, геофильтрационные параметры

2.3. Теоретическая модель стационарной геофильтрации (уравнения неразрывности, движения, состояния). Гидродинамическая сетка, доказательства правил ортогональности и конформности гидродинамической сетки. Условие преломления линий тока на границе сред. Предпосылки перетекания. Плановый поток, его проводимость. Вывод уравнений плановой стационарной фильтрации для напорного и безнапорного потоков.

2.4. Нестационарная фильтрация. Дифференциальное уравнение нестационарного планового безнапорного и напорного потоков

2.5. Граничные и начальные условия. Типы и формулировка граничных условий. Обоснование граничных условий на контуре экранированного водоема. Поток под экранированным водоемом при подпертой фильтрации: дифференциальное уравнение для одномерного в плане потока, его решение, сопротивление ложа водоема и водотока. Граничные условия на свободной поверхности и участке высачивания.

#### **3 Основы гидрогеодинамических расчетов и моделирования**

3.1. Постановка гидрогеодинамических прогнозных, эпигнозных, разведочных задач.

3.2. Расчеты одномерных плановых стационарных потоков при различных схемах их строения (постоянной проводимости, Дюпюи, Гириного).

3.3. Аналитические расчеты нестационарной геофильтрации для простейших расчетных схем одномерного потока с постоянными параметрами. Использование принципа суперпозиции.

3.4. Компьютерное моделирование как основной метод решения гидрогеодинамических задач. Сеточные геофильтрационные модели нестационарного

планового и профильного потока подземных вод, их построение и реализация на компьютере

#### **4 Методы гидрогеодинамических исследований для оценки геофильтрационных параметров**

4.1 Опытнo-фильтрационные опробования. Дифференциальное уравнение геофильтрации в радиальной и осесимметричной системах координат. Теория скважин. Линейные и точечный источники, их использование для схематизации скважин, особенности формирования воронок депрессии в радиальном потоке. Уравнение Дюпюи, уравнение Тейса, квазистационарный режим фильтрации, учет переменного дебита скважин. Влияние плановых границ потока. Особенности восстановления уровня. Формирование воронки депрессии в пластах с перетеканием. Особенности формирования понижений при откачках в безнапорных пластах.

4.2. Опытные кустовые и одиночные откачки из совершенных и несовершенных скважин. Скин-эффект и инерционность скважин. Диагностика расчетных схем изолированного пласта и пласта с перетеканием. Интерпретация опытных откачек с использованием аналитических, численно-аналитических и численных методов.

4.3 Опытнo-фильтрационные наблюдения для оценки геофильтрационных параметров. Определение геофильтрационных параметров по данным опытнo-фильтрационных наблюдений в зоне гидрологического режима с использованием аналитических и численных решений

#### **5 Массотеплоперенос в потоках подземных вод**

5.1 Формы массопереноса в водоносных породах. Конвективный перенос, диффузия, дисперсия и сорбция мигрантов в однородной и неоднородной геофильтрационных средах.

5.2 Формы и законы теплопереноса, теплофизические свойства водоносных горных пород. Скорость конвективного теплопереноса в подземных водах. Аналогия между законами тепло и массопереноса.

#### **Содержание семинаров с практическим решением показательных задач для закрепления навыков геофильтрационных расчетов и интерпретации опытнo-фильтрационных работ**

1. Численное моделирование профильного геофильтрационного потока
2. Численное моделирование планового геофильтрационного потока
3. Обработка кустовой опытнoй откачки и восстановления уровня после нее в однородном изолированном пласте. Оценка скин-эффекта центральной скважины по данным опытнoй откачки.

#### **Рекомендуемые образовательные технологии**

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

В процессе проведения семинарских занятий применяются методы развивающего обучения в интерактивной форме. Семинарские занятия проводятся в специализированной лаборатории моделирования, оборудованной компьютерами с установленным лицензионным оборудованием для геофильтрационного моделирования и обработки опытнo-фильтрационных работ) по группам (подгруппам), численностью не более 10-12 человек.

Самостоятельная работа студентов заключается в проработке отдельных разделов курса, оформлении расчётно-графических работ 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 при сдаче каждым студентом выполненных расчетно-графических работ.

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

1. Виды течения водных потоков - ламинарное, турбулентное, вязко-пластичное. Закон Ньютона для вязкого и вязкопластичного течения.
2. Вывод уравнения фильтрационного равновесия элемента водонасыщенной горной породы. Напор, потенциал, фильтрационная сила.
3. Основной закон фильтрации (закон Дарси). Обоснование выражений для коэффициента фильтрации согласно моделям поровых каналов и трещин, коэффициент проницаемости. Область применения основного закона фильтрации, отклонения от него при проявлении турбулентного и вязко-пластичного режимов движения воды.
4. Гравитационная и упругая емкость водовмещающих пород. Вывод уравнения упругой водоотдачи.
5. 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
6. Теоретическая модель стационарной геофильтрации (уравнения неразрывности, движения, состояния).
7. Гидродинамическая сетка, доказательства правил ортогональности и конформности гидродинамической сетки.
8. Условие преломления линий тока на границе сред. Предпосылки перетекания. Плановый поток, его проводимость.
9. Вывод уравнений плановой стационарной фильтрации для напорного и безнапорного потоков.
10. Нестационарная фильтрация. Дифференциальное уравнение нестационарного планового безнапорного и напорного потоков
11. Обоснование граничных условий на контуре экранированного водоема. Модель свободного режима фильтрации из водоема.
12. Поток под экранированным водоемом при подпертой фильтрации: дифференциальное уравнение для одномерного в плане потока, его решение, сопротивление ложа водоема и водотока. Параметр  $\Delta L$ .
13. Расчеты одномерных плановых стационарных потоков при различных схемах их строения (постоянной проводимости, Дюпюи, Гиринского).
14. Аналитические расчеты подпора для расчетной схемы полуограниченного потока. Использование принципа суперпозиции при переменной скорости изменения уровня на границе.
15. Модель линейного источника для схематизации скважин, особенности формирования воронки депрессии в радиальном потоке. Уравнение Дюпюи, скин-эффект центральной скважины – его природа и влияние на понижение уровня.
16. Уравнение Тейса, квазистационарный режим фильтрации, учет переменного дебита скважин. Особенности восстановления уровня.
17. Формирование воронки депрессии в пластах с перетеканием и при откачках в безнапорном потоке.

18. Интерпретация опытных откачек в изолированном пласте и пласте с перетеканием. Способы диагностики расчетных схем для этих пластов.
19. Опытнo-фильтрaционные наблюдения для оценки геoфильтрaционных параметров. Определeние геoфильтрaционных параметров по данным опытнo-фильтрaционных наблюдений в зоне гидрологического режима с использованием аналитических и численных решений.
20. Формы массопереноса в водоносных породах. Конвективный перенос, диффузия, дисперсия и сорбция мигрантов в однородной и неоднородной геoфильтрaционных средах.
21. Формы и законы теплопереноса, теплофизические свойства водоносных горных пород.
22. Скорость конвективного теплопереноса в подземных водах. Аналогия между законами тепло и массопереноса.

***Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:***

**Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.**

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: основные законы движения подземных вод, переноса вещества и тепла в них и теоретические модели их описывающие, методы геoфильтрaционной схематизации и геoфильтрaционные расчеты, методы и подходы к определению геoфильтрaционных параметров	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: проводить геoфильтрaционную схематизацию процессов, протекающих в подземных водах для обоснования и разработки моделей конкретных объектов, обосновывать постановку и интерпретацию данных опытнo-фильтрaционных опробований для	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умения проводить схематизацию и геoфильтрaционные расчеты, диагностику и интерпретацию опытнo-фильтрaционных работ	Успешное умение проводить геoфильтрaционную схематизацию и геoфильтрaционные расчеты, диагностику и интерпретацию опытнo-фильтрaционных работ

оценки параметров, выполнять простейшие геофильтрационные расчеты;				
Владения: навыками проведения геофильтрационных расчетов, интерпретации данных опытных наблюдений и опробований	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой геофильтрационных расчетов, постановки и интерпретации опытно-фильтрационных работ	В целом сформированные навыки владения методикой геофильтрационных расчетов, постановки и интерпретации опытно-фильтрационных работ.	Владение современным терминологическим аппаратом, методикой геофильтрационных расчетов, постановки и интерпретации и опытно-фильтрационных работ.

## **8. Ресурсное обеспечение:**

### **А) Перечень основной и дополнительной литературы.**

#### **- основная литература:**

1. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика: учебник - М.: Изд-во КДУ, 2009. - 334 с.
2. Шестаков В.М., Кравченко И.П., Штенгелов Р.С. Практикум по динамике подземных вод. 3-е издание. М.: Изд-во МГУ, 1987. - 224 с.

#### **- дополнительная литература:**

1. Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ. Учебное пособие (под ред. Штенгелова Р.С.). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. – 335 с.
2. Лехов А.В. Физико-химическая гидрогеодинамика. М., Изд-во КДУ, 2010 . – 500 с. 3
3. Румынин В.Г. Геомиграционные модели в гидрогеологии. С-П., Изд-во НАУКА, 2011. – 1158
4. Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, инженерно-геофизических и эколого-геологических исследований. Под рад. Королева В. А., Гордеевой Г. И., Гриневского С. О., Богословского В. А. М. МГУ, 2000. – 352 с.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения пакеты программ Microsoft Office Excel, Microsoft Office Word, Microsoft Office PowerPoint, Porcessing Modflow X, Theis, ANSDIMAT

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем  
нет

Г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется):

Д) Материально-технического обеспечение:

а) помещения – аудитория, рассчитанная на группу из 50 учащихся; 2 лаборатории (гидрогеохимическая и фильтрационная) с подведенной водой и вытяжными шкафами.

б) оборудование:

аудитория: мультимедийный проектор, компьютер, экран, выход в Интернет;

лаборатория геофильтрационного моделирования – компьютерный класс с установленным лицензионным программным обеспечением для моделирования геофильтрации и обработки опытно-фильтрационных работ

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – Маслов А. А., Максимова Е. С., Ермаков А. В., Филимонова Е. А.

11. Автор (авторы) программы – Поздняков С. П., Маслов А. А.