

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан геологического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
чл.-корр. РАН Еремин Н.Н.



«18» декабря 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Вар Модели гидрогеологических процессов

Уровень высшего образования:
бакалавриат

Направление подготовки/ специальность:

05.03.01 Геология

Профиль программы бакалавриата:

Экологическая геология

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № 8 от 15 декабря 2025 г.)

Москва 2025

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 05.03.01 Геология, утвержденным приказом по МГУ от 30.12.2016 № 1674 (в действующей редакции).

Год (годы) приема на обучение – 2024.

© 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 - получение теоретических представлений о количественных законах движения подземных вод и математических моделях геофильтрационных процессов; - получение знаний об основных процессах тепломассопереноса в подземных водах и математических моделях, описывающих эти процессы; - овладение навыками геофильтрационной схематизации и методами геофильтрационных расчетов; - изучение методов оценки геофильтрационных параметров и овладение навыками интерпретации опытных геофильтрационных опробований; - освоение современных профессиональных гидрогеодинамических понятий и терминов.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Модели гидрогеологических процессов (гидрогеодинамика) - важнейшая 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.

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

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Математический анализ», «Физика», «Общая геология», «Историческая геология», «Структурная геология и геокартинг», «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. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
ОПК-1 на уровне бакалавриата, ОПК-2 на уровне бакалавриата, ОПК-3 на уровне бакалавриата	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). ОПК-2.Б – способен использовать знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности (формируется частично). ОПК-3.Б – способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично);	Знать: - основные законы движения подземных вод, переноса вещества и тепла в них и основанные на этих законах теоретические модели геофильтрации и геомиграции; - принципы геофильтрационной схематизации; - методы геофильтрационных расчетов и моделирования геофильтрации; - современные методы лабораторных и полевых гидрогеологических исследований для оценки геофильтрационных параметров. Уметь: - проводить геофильтрационную и вычислительную схематизацию и выполнять геофильтрационные расчеты и моделирование для простых типовых схем напорных и безнапорных потоков подземных вод; - планировать и осуществлять лабораторные и полевые опыты для оценки геофильтрационных параметров. Владеть: - навыками анализа гидрогеологической информации для проведения геофильтрационной схематизации гидрогеологических условий; - основными методами обработки результатов лабораторных и полевых опытов для оценки геофильтрационных параметров;

СПК-1 на уровне бакалавриата	СПК-1.Б (1) – способен проводить поиск, критический анализ, обобщение и систематизацию научной информации в области моделей гидрогеологических процессов (формируется частично)	Знать: - принципы построения расчетных геофильтрационных схем на основе анализа гидрогеологических карт и разрезов, результатов опытно-фильтрационных работ. Уметь: - 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. Владеть: навыками поиска и критического анализа научной информации в области гидрогеологии
--	--	---

4. Объем дисциплины: 3 зачетные единицы или **108** часов в том числе **52** часа аудиторных занятий (26 часов лекций, 26 часов практических занятий) и 56 часов внеаудиторных самостоятельных занятий студента. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе						
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы¹</i>				Самостоятельная работа обучающегося (выполнение практических работ), часы		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Практические/лабораторные занятия	Всего	Расчетно-графическая работа	Подготовка контрольной работы	Всего
Введение. Модели гидрогеологических процессов (Гидрогеодинамика), связь с гидрогеологией и гидродинамикой	2	2	-	-	2	-	-	-
Раздел 1. Физико-математические основы теории геофильтрации	6	4	-	2	6	-	-	-
Раздел 2. Геофильтрационная схематизация и модели потоков подземных вод	23	4	-	8	12	11	-	11
Раздел 3. Основы гидрогеодинамических расчетов и моделирования	32	6	-	8	14	18	-	18
Раздел 4. Методы гидрогеодинамических исследований для оценки геофильтрационных параметров	36	6	-	8	14	22	-	22
Раздел 5. Тепломассоперенос в подземных водах	4	4	-	-	4	-	-	-
<u>Промежуточная аттестация -экзамен</u>	5	экзамен				5		
Итого	108	52				56		

¹ Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых консультаций или индивидуальной работы с обучающимися

Содержание разделов дисциплины:

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, Гиринского).

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 точечные 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

Численное моделирование профильного геофильтрационного потока

Численное моделирование планового геофильтрационного потока

Обработка кустовой опытной откачки и восстановления уровня после нее в однородном изолированном пласте. Оценка скин-эффекта центральной скважины по данным опытной откачки.

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

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

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетно-графических работ. Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные работы.

Наименование расчетно-графических работ

1. Оценка обходной фильтрации при проектируемом строительстве низконапорной плотины
2. Определение зоны захвата водозаборных скважин
3. Интерпретация кустового опытнo-фильтрационного опробования в палеогеновом водоносном горизонте

Шкала и критерии оценивания сдачи расчетно-графических работ (зачет/незачет)

Результаты обучения	Незачет	Зачет
Знания: (устный опрос, письменная контрольная работа)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения: (устный опрос, письменная контрольная работа)	Умения практически отсутствуют	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не-принципиального характера)
Навыки: (устный опрос, письменная контрольная работа)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

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

6.2.1. Зачет (при наличии) нет

6.2.2. Экзамен

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамен)

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 ΔL .
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-фильтрационные наблюдения для оценки геофильтрационных параметров. Определение геофильтрационных параметров по данным опытнo-фильтрационных 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 геофильтрационных средах.
21. Формы и законы теплопереноса, теплофизические свойства водоносных горных пород. 22. Скорость конвективного теплопереноса в подземных водах. Аналогия между законами тепло и массопереноса.

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 геофильтрационной схематизации и геофильтрационные расчеты, методы и подходы к определению геофильтрационных параметров	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: проводить геофильтрационную схематизацию процессов, протекающих в подземных водах	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 геофильтрационные	Успешное умение проводить геофильтрационную схематизацию и геофильтрационные расчеты, диагностику и

для обоснования и разработки моделей конкретных объектов, обосновывать постановку и интерпретацию данных опытно-фильтрационных опробований для оценки параметров, выполнять простейшие геофильтрационные расчеты;			расчеты, диагностику и интерпретацию опытно-фильтрационных работ	интерпретацию опытно-фильтрационных работ
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 опытно-фильтрационных работ.

7. 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 дополнительного обеспечения

- Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Office Excel, Microsoft Office Word, Microsoft Office PowerPoint, Porcessing Modflow X, Theis, ANSDIMAT.
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем: нет
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»: нет
- Описание материально-технической базы
 - а) Лекционные аудитории с проектором и экраном.

б) Компьютерный класс на 40 мест, оборудованный IBM-совместимыми компьютерами под управлением ОС Windows-10 и выше с установленным лицензионным программным обеспечением для моделирования геофильтрации и обработки опытно-фильтрационных работ

8. Язык преподавания – русский.

9. Преподаватель (преподаватели) –Маслов А. А., Ермаков А. В., Филимонова Е. А.

10. Разработчик (разработчики) программы: проф. д.г.-м.н. Поздняков С. П., доцент Маслов А. А.