

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.Ерёмин/  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Прочностные и деформационные свойства скальных грунтов**

Автор-составитель: Фролова Ю.В.

**Уровень высшего образования:**  
*Магистратура (ИМ)*

**Направление подготовки:**  
**05.04.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**«Гидрогеология, инженерная геология, геокриология»**

**Магистерская программа**  
**Инженерная 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** освоения дисциплины «Прочностные и деформационные свойства скальных грунтов» является приобретение студентами теоретических знаний о прочностных, деформационных, реологических и динамических свойствах скальных грунтов и практическое освоение лабораторных методов их определения.

**Главная задача** курса заключается в развитии у студентов профессиональных навыков и знаний методики изучения физико-механических свойств скальных грунтов.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Курс «Прочностные и деформационные свойства скальных грунтов» направлен на получение студентами теоретических знаний о прочностных, деформационных, реологических и динамических свойствах скальных грунтов, процессах их деформирования и механизмах разрушения; о скальных массивах, методах их изучения и оценке свойств.

На практических занятиях студенты осваивают методику определения физико-механических свойств скальных грунтов, включая повторение стандартного комплекса лабораторных методов и знакомство с новыми оригинальными методиками.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП** – относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору.

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

базируется на знаниях по дисциплинам: "Инженерная геология, часть 1. Грунтоведение", "Дополнительные главы по грунтоведению", "Механика грунтов", "Методы изучения скальных грунтов".

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
<b>ОПК-2.М.</b> Способен применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки при решении задач профессиональной деятельности.	<b>М.ОПК-2. И-1.</b> Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки, при решении исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности.	<b>Знать:</b> инженерно-геологические особенности скальных грунтов и методику их изучения <b>Уметь:</b> использовать теоретические знания о скальных грунтах и методических основах их изучения при решении прикладных инженерно-геологических задач
<b>ОПК-3.М.</b> Способен самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных	<b>М.ОПК-3. И-1.</b> Определяет цель, задачи, обосновывает актуальность и разрабатывает логическую схему проекта в профессиональной области.	<b>Знать:</b> методику изучения скальных грунтов и методы определения их прочностных и деформационных свойств <b>Уметь:</b> определять цель, задачи, обосновывать актуальность и разрабатывать логическую схему исследования скальных грунтов;

задач. (формируется частично)	<b>М.ОПК-3. И-2.</b> Формулирует методiku решения исследовательских задач на основе классических подходов и инновационных идей геологических и смежных наук.	формулировать методiku решения исследовательских задач <b>Владеть:</b> методикой изучения инженерно-геологических особенностей скальных грунтов и методами определения их прочностных и деформационных свойств
<b>ОПК-5.М.</b> Способен представлять, защищать, обсуждать и распространять результаты своей профессиональной деятельности.	<b>М.ОПК-5. И-1.</b> Владеет навыками представления результатов научной и практической деятельности в устной и письменной формах в соответствии с нормами, принятыми в профессиональном сообществе. <b>М.ОПК-5. И-2.</b> Умеет защищать полученные результаты в ходе обсуждения.	<b>Знать:</b> принципы обработки, обобщения и анализа экспериментальных данных. <b>Уметь:</b> представлять и защищать результаты экспериментальных исследований в устном (доклад с презентацией) и письменном (отчет) виде <b>Владеть:</b> навыками представления результатов исследовательской деятельности в виде доклада и отчета.
<b>ПК-5 М.</b> Способен к профессиональной эксплуатации современного полевого/лабораторного оборудования в соответствии с профилем подготовки; (формируется частично)	<b>М.ПК-5. И-1.</b> Имеет практические навыки эксплуатации современного полевого/лабораторного оборудования (по профилю подготовки).	<b>Знать:</b> методiku и методы изучения прочностных и деформационных свойств скальных грунтов <b>Уметь:</b> определять прочностные и деформационные свойства скальных грунтов в соответствии с нормативными документами <b>Владеть:</b> современными лабораторными методами определения прочностных и деформационных свойств скальных грунтов в соответствии с нормативными документами, обработкой и интерпретацией полученных результатов.

**4. Объем дисциплины (модуля)** составляет 2 з.е., в том числе 56 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (14 часов – занятия лекционного типа, 42 часов – практические занятия), 16 академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

**5. Формат обучения** не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

**6. Содержание дисциплины (модуля),** 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, часы</i>			Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>			
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Всего	Расчетно-графические работы	Подготовка реферата и доклада	Подготовка к контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Прочностные и деформационные свойства скальных грунтов и методы их определения	<b>26</b>	4	20	<b>24</b>	2			<b>2</b>
Раздел 2. Деформирование и разрушение скальных грунтов.	<b>18</b>	4	12	<b>16</b>	2			<b>2</b>
Раздел 3. Реологические и динамические свойства скальных грунтов	<b>8</b>	3	2	<b>5</b>	3			<b>3</b>
Раздел 4. Массивы скальных грунтов	<b>8</b>	3	2	<b>5</b>	3			<b>3</b>
Текущая аттестация 1: <i>защита реферата и доклад с презентацией</i>	<b>7</b>		4	<b>4</b>		3		<b>3</b>
Текущая аттестация 2: <i>контрольная работа</i>	<b>5</b>		2	<b>2</b>			3	<b>3</b>
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>		<i>Устный экзамен</i>						
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>56</b>			<b>16</b>			

Текущая аттестация проводится в рамках занятий лабораторного типа

## **Содержание лекций, семинаров**

### ***Содержание лекций***

#### **Раздел 1. Прочностные и деформационные свойства скальных грунтов.**

Понятие о скальных грунтах. Возникновение механики горных пород. Актуальность изучения скальных грунтов в настоящее время.

Физико-механические свойства скальных грунтов. Факторы, влияющие на физико-механические свойства (структурно-минералогические, режимы и условия испытаний). Виды испытаний.

Прочностные свойства. Прочность на одноосное сжатие. Размягчаемость. Морозостойкость. Прочность на растяжение. Прочность при трехосном сжатии. Сдвиговые характеристики. Паспорт прочности скального грунта. Анизотропия прочностных свойств. Влияния режимов и условий испытаний на прочность пород: масштабный эффект; влияние абсолютного и относительного размеров образцов; объемный и поверхностный масштабный эффект; влияние трения на контактах торцевой поверхности образца и нагрузочных плит пресса (торцевой эффект); влияние отклонения рабочей поверхности образцов от идеальной плоскости; влияние направления приложения нагрузки; влияние скорости нагружения; влияние режима испытаний.

Деформационные свойства. Виды деформаций. Линейные, угловые, объемные деформации. Упругие и остаточные деформации. Абсолютные и относительные деформации. Диаграмма деформирования скального грунта при одноосном сжатии и растяжении. Определение деформационных характеристик при одноосном сжатии (статический и динамический методы). Методы расчета модуля деформации. Модули сдвига и объемной деформации. Корреляционная взаимосвязь между статическим и динамическим модулями деформации. Анизотропия упругих свойств

#### **Раздел 2. Деформирование и разрушение скальных грунтов.**

Диаграмма деформирования и разрушения хрупкого материала. Полная диаграмма деформирования скального грунта в условиях сжатия. Деформирование скальных грунтов при одноосном сжатии, растяжении, объемном сжатии. Влияние бокового давления на характер деформирования и разрушения. Механизмы разрушения горных пород и методы их исследования. Стадии разрушения. Теории прочности (механические, деформационные, кинетические).

#### **Раздел 3. Реологические и динамические свойства скальных грунтов.**

Реологические свойства: ползучесть, релаксация напряжений, длительная прочность. Методы определения реологических свойств. Кривая ползучести. Стадии ползучести. Кривая длительной прочности. Влияние скорости нагружения на прочностные и деформационные свойства. Общие закономерности изменения свойств пород при увеличении времени действия нагрузки

Динамические свойства. Динамические нагрузки. Понятие усталостного разрушения. Предел усталости (усталостная прочность). Кривая Велера. Зависимость усталостной прочности от числа циклов нагружения. Характер разрушения в статических и динамических условиях. Долговечность. Факторы, контролируемые усталостные процессы (особенности грунта, параметры действующей нагрузки).

#### **Раздел 4. Массивы скальных грунтов**

Понятие "массив скальных грунтов". Факторы, влияющие на физико-механические свойства скального массива. Трещиноватость. Уровни трещиноватости. Генезис трещин; первичные и вторичные трещины. Классификации трещин по геометрическим размерам, интенсивности, степени выраженности, заполнителю, шероховатости стенок и пр. Ориентировка трещин. Системы трещин, способы представления. Геометрическая классификация сетей трещин. Количественные показатели трещиноватости. Механические свойства трещин. Идеализированные модели, экспериментальные определения, эмпирические уравнения.

### ***Содержание практических занятий.***

1. Определение деформационных свойств динамическим и статическим методами.

2. Изучение влияния водонасыщения на прочностные и упругие свойства скальных грунтов.
3. Изучение анизотропии прочностных и упругих свойств.
4. Определение прочностных и упругих свойств методом неразрушающего контроля (молоток Шмидта).
5. Построение паспорта прочности скального грунта.
6. Изучение влияния размера образца на прочность (масштабный эффект).
7. Изучение влияния торцевого эффекта на прочность.
8. Определение прочности на разрыв различными методами.
9. Определение прочности при трехосном сжатии.
10. Изучение реологических свойств.
11. Оценка прочностных и деформационных свойств на основе эмпирического критерия разрушения Хоека-Брауна и геологического индекса прочности (GSI) (программа RocLab)".

## **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 лабораторных работ, при докладах с презентацией и защите рефератов, при контрольном тестировании.

#### ***Примерный список заданий по обработке результатов лабораторных испытаний:***

1. Определить деформационные характеристики скального грунта (модуль упругости и коэффициент Пуассона) динамическим и статическим методами. Сравнить полученные значения.
2. Проанализировать влияние водонасыщения на прочностные и упругие свойства скальных грунтов.
3. Выявить влияние ориентированных текстур скального грунта на прочностные и упругие свойства.
4. Определить прочностные и упругие свойства методом неразрушающего контроля (молоток Шмидта). Сравнить со значениями, полученными стандартными методами. Построить корреляционную кривую.
5. Определить значения прочности на одноосное сжатие и разрыв скального грунта. Построить паспорт прочности. Рассчитать значения сцепление и угла внутреннего трения.
6. Определить прочность на одноосное сжатие серии образцов скального грунта цилиндрической формы с различным соотношением высоты и диаметра. Построить кривую зависимости величины прочности от геометрических размеров образца.
7. Определить прочность на разрыв скального грунта тремя методами (бразильским, раскалыванием плиток и встречными сферическими инденторами). Сравнить полученные значения.
8. Определить прочность образцов при трехосном сжатии (при различных величинах бокового давления), построить диаграмму Кулона-Мора, рассчитать сцепление и угол внутреннего трения.
9. Рассчитать прочностные и деформационные свойства скального массива с помощью программы "Rocklab". Сопоставить результаты, полученные с использованием критериев разрушения Хоека-Брауна и Кулона-Мора. Определить характер разрушения.

#### ***Рекомендуемые темы докладов, рефератов:***

1. Сравнение модулей упругости, полученных динамическим и статическим методами.

2. Определение прочностных и деформационных характеристик методами неразрушающего контроля.
3. Использование эмпирических классификаций для определения свойств скального массива.
4. Реологические свойства горных пород.
5. Анизотропия прочностных и деформационных свойств горных пород.
6. Влияние размеров и формы образцов горных пород на их физико-механические свойства.
7. Влияние режимов и условий испытаний на физико-механические свойства скальных грунтов.
8. Динамические свойства скальных грунтов
9. Применение метода акустической эмиссии для изучения процесса деформирования и разрушения скальных грунтов
10. Влияние выветривания на физико-механические свойства скальных грунтов.

***Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля.***

1. Прочность на одноосное сжатие скальных грунтов
2. Масштабный фактор (влияние абсолютного и относительного размера образца на прочность)
3. Сцепление и угол внутреннего трения скальных грунтов и методы определения
4. Понятие о геологическом индексе прочности (GSI)
5. Понятие о длительной прочности скальных грунтов
6. Кинетические теории прочности
7. Полная диаграмма деформирования скального грунта
8. Механизмы и стадии разрушения скального грунта
9. Усталостное разрушение
10. Молоток Шмидта: устройство, принцип работы
11. Что такое паспорт прочности скального грунта?
12. Методы определения деформационных свойств
13. Эмпирический критерий прочности Хоека-Брауна
14. Механические свойства трещин. Методы определения.
15. Методы определения прочности на разрыв

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

***Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамен):***

1. Понятие скальный грунт. Генетическая классификация и основные типы скальных грунтов. На каком основании грунты делятся на скальные и полускальные?
2. Актуальность изучения скальных грунтов в настоящее время.
3. Подготовка образцов для лабораторного исследования. Требования к образцам.
4. Стандартный комплекс методов по определению физических и физико-механических свойств скальных грунтов (плотность, плотность твердой фазы, пористость общая и открытая, водопоглощение, скорости упругих волн, деформационные свойства, прочностные свойства)
5. Прочность на одноосное сжатие.
6. Прочность на растяжение и методы определения.
7. Прочность при трехосном сжатии.
8. Сцепление и угол внутреннего трения скальных грунтов и методы определения.
9. Паспорт прочности скального грунта.
10. Морозостойкость.
11. Размягчаемость.
12. Деформационные свойства и методы их определения.
13. Определение упругих свойств динамическим методом.



14. Определение деформационных свойств при одноосном сжатии (статический метод).
15. Анизотропия прочностных и деформационных свойств.
16. Факторы, влияющие на физико-механические свойства скальных грунтов.
17. Геолого-минералогические факторы, влияющие на физико-механические свойства. Примеры.
18. Влияние режимов и условий испытаний на физико-механические свойства
19. Масштабный фактор (влияние абсолютного размера образца).
20. "Торцевой эффект" при испытании образца скального грунта на сжатие.
21. Теории прочности.
22. Механизмы разрушения.
23. Стадии разрушения.
24. Полная диаграмма деформирования скального грунта в условиях одноосного сжатия (жесткий режим). Стадии деформирования.
25. Деформирование скальных грунтов при гидростатическом сжатии ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ )
26. Понятие "скальный массив". Факторы, влияющие на физико-механические свойства скального массива.
27. Методы определения физико-механических свойств скального массива
28. Эмпирические классификации скальных массивов.
29. Критерий прочности Хоека-Брауна.
30. Понятие о геологическом индексе прочности (GSI).
31. Возможности программы "Roslab".
32. Классификация массивов Биенявски (RMR).
33. Реологические свойства (ползучесть, релаксация напряжений, длительная прочность).
34. Динамические свойства (усталостное разрушение, долговечность).
35. Основные количественные показатели трещиноватости (RQD, MT, Kтп, выход керна).
36. Классификации трещин по генезису.
37. Способы представления данных по трещиноватости.
38. Механические свойства трещин (сжатие, растяжение, сдвиг).
39. Молоток Шмидта: устройство, принцип работы, определение прочности

#### Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (экзамен).

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
<b>Знания</b> о прочностных и деформационных свойствах скальных грунтов и методах их определения (устный опрос)	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
<b>Умения</b> определять прочностные и деформационные свойства скальных грунтов (устный опрос)	Умения отсутствуют	Не систематическое умение, допускает неточности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы в умении диагностировать	Успешное умение правильно диагностировать скальный грунт, определять

			ь скальный грунт и определять показатели свойств	показатели свойств
<b>Владение</b> лабораторными методами определения прочностных и деформационных свойств скальных грунтов ( <i>устный опрос</i> )	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение	В целом сформированы навыки владения	Владение комплексом лабораторных методов изучения скальных грунтов.

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

Зерцалов М.Г. Механика грунтов (введение в механику скальных грунтов). М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 364 с.

Лабораторные работы по грунтоведению. Учебное пособие/ под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: КДУ, 2017 – 654 с. (40 шт.)

Фролова Ю.В. Учебное пособие. Скальные грунты и методы их лабораторного изучения. М.: КДУ, 2015. – 222 с.

#### - дополнительная литература:

Баклашов И.В. Геомеханика. Т.1. Основы геомеханики. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – 208 с.

Голодковская Г.А., Матула М., Шаумян Л.В. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов. М.: Изд-во МГУ, 1986. – 272 с.

Зиангиров Р.С., Роот П.Э., Филимонов С.Д. Практикум по механике грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1984. – 152 с.

Каркашадзе Г.Г. Механическое разрушение горных пород. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – 222 с.

Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т.2. Лабораторные методы/ Под ред. Е.М.Сергеева. М.: Недра, 1984.

Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра. 1970. – 164 с.

Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы/ Под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. – 332 с.

Hoek E. Practical rock engineering: e-book. Toronto: Rocscience (electronic resource), 2007. [http://www.rocscience.com/hoek/corner/Practical\\_Rock\\_Engineering.pdf](http://www.rocscience.com/hoek/corner/Practical_Rock_Engineering.pdf)

### Б) Перечень программного обеспечения:

#### - лицензионное

#### - нелицензионное и свободного доступа

пакет программ Open Office, Statistica; программа "Roclab" для расчета прочностных и деформационных свойств скального массива; “АКТАКОМ” для определения скоростей упругих волн.

### В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

- [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)

### Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

- электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)

**Д) Материально-технического обеспечение:**

Д) Материально-технического обеспечение:

- Помещения: аудитория, рассчитанная на группу из 10 учащихся; лаборатория с подведенной водой и вытяжным шкафом.
- Оборудование: мультимедийный проектор, компьютер, экран, весы, штангенциркуль, сушильный шкаф, камнерезный и буровой станки, шлифовальный круг, ультразвуковой прибор, механический пресс ZDM-10, гидравлические прессы ИП-1000 и Controls-1500 с устройством для регистрации деформаций и камерой Хоека для трехосных испытаний, склерометр (молоток Шмидта).
- Учебная коллекция скальных грунтов.
- Образцы скального грунта для лабораторных испытаний.

**9. Язык преподавания – русский.**

**10. Преподаватель:** Ответственный за курс — Фролова Юлия Владимировна, доцент кафедры инженерной и экологической геологии.

**11. Разработчик программы:** Фролова Юлия Владимировна, доцент кафедры инженерной и экологической геологии