

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан географического факультета,  
академик, РАН Добролюбов С.А.

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)  
ФИЗИКА И МЕХАНИКА МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ И ЛЬДОВ**

---

**Уровень высшего образования:**  
*бакалавриат*

---

**Направление подготовки:**  
**05.03.02 «География»**

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**«Криолитология и гляциология»**

---

**Форма обучения:**  
**очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
*Учебно-методической комиссией географического факультета*  
(протокол №16, дата 12.10.2022)

Москва 2022

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 «География» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемым последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утверждены решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова (приказ по МГУ № 1383 от 30 декабря 2020 года).

Год (годы) приема на обучение: 2021

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
*Программа не может быть использована без разрешения факультета.*

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП — относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения;
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по курсам «Основы мерзлотоведения и гляциологии», «Мерзлотоведение», «Грунтоведение», «Физика», «Химия», «Математика».
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
<p>СПК-3. (формируется частично) Способность применять фундаментальные знания о свойствах мерзлых пород, подземных и наземных льдов в зависимости от термодинамических параметров, строения пород и льдов; умение оценивать деформацию льда и мерзлых пород под влиянием температуры и механических воздействий с целью принятия оптимальных инженерных решений, рассчитывать несущую способность мерзлых грунтов</p>	<p>СПК-3. 1 Применяет знания о свойствах, параметрах и строении мерзлых пород и льдов, умеет оценивать деформацию и рассчитывать несущую способность грунтов в целях принятия оптимальных инженерных решений.</p>	<p><b>Знать:</b> основные законы и принципиальные положения механики мерзлых грунтов; свойства грунтов и их характеристики; основные принципы формирования льдов с различной структурой и механическими свойствами; основные факторы, определяющие тепловые поля в вечномерзлых грунтах; основы нормативной базы в области инженерных изысканий в криолитозоне; основные методы расчета прочностных и деформационных характеристик мерзлых грунтов и льда; <b>Уметь:</b> правильно оценивать строительные свойства грунтов; осуществлять подбор теплофизических характеристик вечномерзлых грунтов в зависимости от состава, плотности и влажности; определять теплофизические показатели льдов, включая искусственный лёд и снег; пользоваться различными специальными таблицами, приведенными в нормативных документах, о свойствах мерзлых грунтов, определять напряжения в массиве грунта и деформации основания под действием внешних нагрузок; оценивать устойчивость грунтов в криолитозоне; <b>Владеть:</b> навыками экспериментальной оценки физико-механических свойств грунтов и льда; методикой постановки краевых задач (начальные и граничные условия, создание генерализированной сетки по мерзлотно геологическому профилю) теплопроводности;</p>

		методами количественного прогнозирования напряженно-деформированного состояния оснований и устойчивости сооружений, расчетами теплового состояния.
--	--	--

4. Объем дисциплины (модуля) 3 з.е., в том числе 54 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 54 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

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 или астрономических 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 семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа с литературой	Подготовка к опросу/контрольной работе	Всего
<b>Раздел 1. Физические параметры</b>									
Тема 1. Физическая природа мерзлых грунтов	13	6	3			<b>9</b>	3	1	<b>4</b>
Тема 2. Теплофизические свойства	15	7	3			<b>10</b>	4	1	<b>5</b>
Текущая аттестация № 1. Контрольная работа	1		1			<b>1</b>			
Тема 3. Засоленные мерзлые грунты	9	3	2			<b>5</b>	3	1	<b>4</b>
<b>Раздел 2. Прочность и деформация</b>									
Тема 4. Прочностные свойства мерзлых грунтов и льда.	13	6	2			<b>8</b>	4	1	<b>5</b>
Текущая аттестация № 2. Контрольная работа	1		1			<b>1</b>			
Тема 5. Реологические процессы в мерзлых грунтах	16	7	2			<b>9</b>	6	1	<b>7</b>
Текущая аттестация № 3. Контрольная работа	1		1			<b>1</b>			

Тема 6. Формирование напряженно-деформированного состояния в вечномерзлых грунтовых массивах	15	7	3			10	4	1	5	
Промежуточная аттестация экзамен	24	<i>Экзамен</i>					24			
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>54</b>					<b>54</b>			

## Содержание лекций, семинаров

### Содержание лекций

#### Раздел 1. Физические параметры

**Тема 1. Физическая природа мерзлых грунтов.** Основные понятия, цели и задачи курса. Роль изучения механики мерзлых грунтов в обеспечении надежности вечномерзлых оснований здания и сооружений. Состав и строение мерзлых грунтов, взаимодействие компонентов грунта. Физические свойства мерзлых грунтов. Связь физических и механических характеристик грунтов. Физические характеристики. Расчет влажностных показателей и льдистости. Виды льда в мерзлых грунтах и их значение. Методы, приборы и аппаратура для определения влажностных параметров, льдистости, сейсмо- и электропроводных свойств мерзлых грунтов.

**Тема 2. Теплофизические свойства.** Теплопроводность мерзлых пород; зависимость от состава, строения, льдистости, генезиса, оторфованности; изменение в цикле «промораживание – переохлаждение – отепление – протаивания». Теплоемкость. Температуропроводность. Температура начала замерзания. Теплофизические свойства снега (в т.ч. искусственного) и льда. Формирование тепловых полей в многослойных средах, в грунтах различного состава, влажности, льдистости. Стационарные, нестационарные и квазистационарные тепловые поля. Теплопередача, основные методы решения задач теплопроводности. Методы, приборы и аппаратура для определения теплофизических свойств мерзлых грунтов.

**Тема 3. Засоленные мерзлые грунты.** Особенности перераспределения (криогенного концентрирования) растворимых солей при промерзании грунтов. Теплофизические и механические свойства засоленных мерзлых грунтов.

#### Раздел 2. Физические параметры

**Тема 4. Прочность и деформация.** Прочность, характер связей и виды сил сцепления. Кратковременная и длительная прочность, зависимость от температурного фактора Эквивалентное сцепление.

**Тема 5. Реологические процессы в мерзлых грунтах.** Ползучесть и релаксация. Зарождение и развитие реологических процессов в мерзлых грунтах. Реологические уравнения напряженно- деформированного состояния мерзлых грунтов. О релаксации напряжений в мерзлых грунтах и предельно-длительной прочности. Определение параметров ползучести мерзлых грунтов. Вязкость. Методы, приборы и аппаратура для определения механических свойств мерзлых грунтов.

**Тема 6. Формирование напряженно-деформированного состояния в вечномерзлых грунтовых массивах** Сопротивление мерзлых грунтов сжатию, растяжению и сдвигу. Показатели сжимаемости вечномерзлых грунтов; пластичномерзлые и твердомерзлые породы. Прочность смерзания грунтов. Величины критических и расчетных сопротивлений нагрузкам. Деформации мерзлых грунтов при отрицательной температуре. Виды деформаций мерзлых грунтов. Механизмы деформирования льда при приложении нагрузок. Разрушающие

и неразрушающие деформации. Упругие, пластические и хрупкие деформации мерзлых грунтов, льда и их характеристики. Деформации уплотнения мерзлых грунтов. Деформации затухающей ползучести мерзлых грунтов. Деформации пластично-вязкого течения мерзлых грунтов и льда.

#### *План проведения семинаров*

1. Методы построения кривых охлаждения и замерзания для дисперсных грунтов. Оценка по кривым содержания незамерзшей воды различий в дисперсных грунта. Рассчитать основные показатели физических свойств для четырех типов дисперсных грунтов.
2. Методы, приборы и аппаратура для определения теплофизических свойств мерзлых грунтов. Построить (по табличным данным) графики изменения теплопроводности 3-х основных типов грунтов в зависимости от влажности; от плотности; аналогичное задание – для теплопроводности. Подготовить краткие сообщения по различным методам (включая приборы и аппаратуру) определения теплопроводности. Овладеть методом и осуществить расчет (одномерная стационарная задача) теплового состояния грунта с учетом подвижной границы раздела фаз (условие Стефана).
3. Изучение влияние содержания различных катионов и анионов на влагопроводные и теплофизические параметры засоленных грунтов. Построить (по табличным данным) изменение температуры начала замерзания засоленных грунтов разного состава.
4. Знакомство с приборами и аппаратурой для исследования прочностных параметров мерзлых грунтов и льдов. Построить кривые зависимости мгновенного и длительного сцепления мерзлых грунтов от величины отрицательной температуры по табличным данным.
5. Сравнение показателей ползучести, релаксации и вязкости для грунтов разного состава, льдистости, температуры при приложении различных нагрузок. Построить кривые ползучести для заданных грунтов по табличным данным. Изучить метод построения кривой релаксации.
6. Применение метода суперпозиции при оценке напряженно-деформированного состояния вечномерзлых оснований при возведении сооружений. Построить кривые зависимости временного сопротивления сжатия мерзлых грунтов от величины отрицательной температуры по табличным данным.

#### **7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю):**

После освоения каждого раздела программы проводится семинар с обсуждением тем программы или контрольной работой.

Примерный перечень вопросов:

##### **Текущая аттестация №1. Контрольная работа**

Какова разница в теплопроводности талых и мерзлых грунтов и в чем ее причина? Назовите ряд увеличения коэффициента теплопроводности мерзлых пород в зависимости от дисперсности. Что такое объёмная теплоёмкость и с чем связаны количественные различия для мерзлых грунтов одного состава? Построить графики (по индивидуальным заданиям) изменения коэффициента теплопроводности и значения объёмной теплоёмкости для различных дисперсных грунтов в системах: а) «постоянная влажность – меняющаяся плотность»; б) «постоянная плотность – изменяющаяся влажность»

### **Текущая аттестация №2. Контрольная работа**

Что такое кратковременная и длительная прочность мерзлых грунтов? Какие факторы определяют временное сопротивление мерзлых грунтов сжатию? Построить кривые длительной прочности для заданных грунтов по табличным данным (по индивидуальным заданиям).

### **Текущая аттестация №3. Контрольная работа**

В чем состоит причина текучести мерзлых грунтов и льда? Какие факторы определяют разницу мгновенной и длительной прочности природных льдов? Построить кривые длительного сопротивления сдвигу по поверхности смерзания (по табличным данным, приведённым в СП 25.13330 (строительные правила), по индивидуальным заданиям) в системе «изменение температуры - величина сопротивлению сдвигу – грунты разной дисперсности».

### **Опрос по теме 1**

Из чего состоит мерзлый дисперсный грунт и каково значение каждого из компонентов?

Что такое незамерзшая вода и почему она не замерзает?

Что такое дисперсность и как она влияет на физико-механические свойства грунтов?

Что такое миграция влаги при промерзании и к каким последствиям она приводит?

### **Опрос по теме 3.**

Как влияет криогенное перераспределение ионов легкорастворимых солей на формирование криогенных текстур в дисперсных грунтах?

Какие из катионов повышают (какие понижают) теплопроводность засоленных грунтов?

Каково влияние степени и характера засоления (морского, континентального или техногенного) на температуру начала замерзания различных дисперсных пород?

### **Опрос по теме 6**

Назовите главные природные факторы, определяющие прочностные свойства мерзлых грунтов.

Назовите причину, определяющую механизм роста полигонально-жильных льдов

В чем отличие температурных деформаций мерзлых дисперсных пород от скальных и немерзлых?

Каковы основные механизмы деформирования под нагрузкой льда, содержащегося в мерзлых породах?

Оцените «вклад» температуры и «вклад» состава мерзлых пород в формирование напряженно-деформированного состояния в основаниях инженерных объектов.

### *Примерный перечень вопросов для экзамена*

1. Параметры мерзлых пород и льда, рассматриваемые в физике и механике грунтов
2. Состав и строение мерзлых грунтов, взаимодействие компонентов грунта
3. Определение суммарной льдистости вечномерзлых грунтов расчетными методами.
4. Теплопроводность мерзлых грунтов.
5. Влияние промерзания – протаивания грунтов на изменение их теплопроводности
6. Теплоемкость и температуропроводность; фазовые переходы

7. Температура начала замерзания грунтов, связь с литологическими факторами, с засоленностью или оторфованностью
8. Теплофизические свойства засоленных мерзлых грунтов
9. Теплофизические характеристики снега (в т.ч. искусственного) и льда
10. Факторы, определяющие температурный режим вечномерзлых оснований
11. Граничные и начальные условия при изучении тепловых полей в вечномерзлых грунтах
12. Формирование напряженно-деформированного состояния грунтов в процессе промерзания
13. Реологические процессы в мерзлых грунтах и основные виды их проявления: ползучесть, снижение прочности, релаксация напряжений
14. Установившаяся и неуставившаяся ползучесть; стадия прогрессирующего течения
15. Вязкость мерзлых грунтов
16. Силы сцепления в мерзлых грунтах и льдах
17. Условно-мгновенная, длительная, предельно-длительная прочность.
18. Полевые и лабораторные методы определения прочностных свойств мерзлых грунтов и льда
19. Сопротивление мерзлых пород внешним нагрузкам.
20. Влияние льдистости, засоленности, заторфованности, температуры на прочность и деформируемость мерзлых грунтов.
21. Упругие, пластические и хрупкие деформации мерзлых грунтов и их характеристики
22. Виды деформаций мерзлых грунтов и льда при приложении нагрузок; предельные и неупредельные деформации, связь с реологическими свойствами

### Шкала и критерии оценивания

**Промежуточная аттестация** по итогам освоения дисциплины – *экзамен/устный*.

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: <i>устный опрос, тесты</i> )	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: <i>практические контрольные задания</i> )	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности)	Успешное и систематическое умение

			непринципиального характера)	
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)(виды оценочных средств: практические контрольные задания)</b>	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

#### 8. Ресурсное обеспечение:

##### *Основная литература:*

1. Гребенец В. И., Рогов В. В. Инженерное мерзлотоведение: учебное пособие. — М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2000. — 96 с.
2. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах (актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88). – М.: Госстрой России, 2012 – 64 с.
3. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов: учебное пособие. — М.: Высшая школа, 1973. — 448 с.
4. Хрусталева Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне.- М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005.- 542 с.

##### *Дополнительная литература:*

1. Вялов С.С. Реология мерзлых грунтов. - М.: Стройиздат, 2000- 464 с.

##### *Не лицензионное ПО*

1. QFrost - программа для решения нестационарных двухмерных задач по теплопроводности с учетом условия Стефана

##### *Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»*

- <http://www.geogr.msu.ru/cafedra/crio> - Сайт кафедры криолитологии и гляциологии
- <http://www.izdatgeo.ru/index.php?action=journal&id=2> - Сайт журнала «Криосфера Земли»
- [https://www.researchgate.net/journal/1099-1530\\_Permafrost\\_and\\_Periglacial\\_Processes](https://www.researchgate.net/journal/1099-1530_Permafrost_and_Periglacial_Processes) - Сайт журнала «Permafrost and Periglacial Processes»
- [https://www.researchgate.net/journal/1523-0430\\_Arctic\\_Antarctic\\_and\\_Alpine\\_Research](https://www.researchgate.net/journal/1523-0430_Arctic_Antarctic_and_Alpine_Research) - Сайт журнала «Arctic Antarctic and Alpine Research»
- <http://www.the-cryosphere.net> - сайт журнала The Cryosphere
- <http://ice-snow.igras.ru/jour/issue/archive> - сайт журнала «Лёд и Снег»
- <http://www.docs.cntd.ru> - Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации

<https://gtnp.arcticportal.org> - Глобальная сеть наблюдений за мерзлотой

*Описание материально-технической базы:*

Учебная аудитория, компьютер, экран, мультимедийный проектор.

Для проведения практических занятий требуются компьютеры с установленными программами для решения нестационарных двухмерных задач по теплопроводности с учетом условия Стефана; используются также данные о мерзлотно-геологическом строении вечномерзлых оснований в разных районах криолитозоны.

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватель: Ответственный за курс — к.г.-м.н. доцент кафедры криолитологии и гляциологии Гребенец Валерий Иванович

11. Разработчики программы: к.г.-м.н. доцент кафедры криолитологии и гляциологии Гребенец Валерий Иванович