

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра прикладной геофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.А. Тихоцкий, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры прикладной геофизики 28.01.2022

## Аннотация

В курсе «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» излагается теория математического моделирования геофизических полей и процессов, методы и принципы решения прямых и обратных задач геофизики, основы численных методов решения соответствующих задач и математического программирования, цели и задачи интерпретации геофизических данных.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Усвоение методологии, основных методов и подходов к обработке и интерпретации геофизических данных, решению прямых и обратных задач геофизики, математическому моделированию геофизических полей и процессов.

#### Задачи дисциплины

- получение теоретических знаний о математических методах решения прямых и обратных задач;
- выработка практических навыков по применению этих методов для обработки и интерпретации полевых геофизических данных.
- рассмотреть задачи пометодной и комплексной интерпретации геофизических данных, анализа и привлечения априорной геолого-геофизической информации, геологическое истолкование полученных результатов.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты

ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- физико-математическую теорию геофизических методов исследований;
- принципы и методы моделирования геофизических полей и процессов;
- основные методы и алгоритмы обработки и интерпретации геофизических данных;
- принципы решения прямых и обратных задач геофизики;
- принципы построения геологических моделей месторождений полезных ископаемых и способы корректировки плана геолого-разведочных работ на основе результатов интерпретации геофизических данных;
- основы методики проведения полевых геофизических исследований и получения геофизических данных.

уметь:

- на основании информации о геологическом строении, литолого-фациальном и минералогическом составе среды проводить моделирование геофизических полей и процессов;
- на основании данных о значениях наблюдаемых физических полей реконструировать строение и физические свойства геологической среды;
- давать геологическое истолкование результатов обработки и интерпретации геофизических данных.

владеть:

следующими навыками:

- анализа и обработки первичных геофизических данных;
- использования компьютерных программ анализа и обработки геофизической информации;
- подготовки заданий и отчётов по проектам обработки и интерпретации геофизических данных.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение	1			1
2	Методы математической физики	7	4		11
3	Геофизические поля и процессы. Прямые задачи геофизики	8	2		10
4	Обратные задачи геофизики	6	4		10
5	Статистические методы обработки и интерпретации геофизических данных	8	5		13
Итого часов		30	15		45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

## 1. Введение

Цель, задачи и значение курса. Предмет и методы исследования.

## 2. Методы математической физики

Основные уравнения математической физики: теплопроводности, Пуассона, Лапласа, волновое, Гельмгольца, Навье-Стокса, описываемые ими физические процессы и применение в геофизике. Постановка краевых задач математической физики. Теория потенциала. Гармонические функции и их свойства. Краевые задачи теории потенциала. Применение в геофизике. Нормальное поле силы тяжести. Редукции силы тяжести. Теория волн. Принцип Гюйгенса. Метод Кирхгофа. Гармонические колебания. Сейсмические волны. Отражение и преломление. Распространение плоских волн в слоистой среде. Волноводы. Задача Лэмба о волнах, возбуждаемых точечными источниками в упругом полупространстве. Поверхностные упругие волны. Волна Рэлея, волна Лява. Электромагнитные волны, их распространение в геологической среде.

## 3. Геофизические поля и процессы. Прямые задачи геофизики

Поля времён сейсмических волн в слоистых и трёхмерно- неоднородных средах. Лучевые методы. Уравнение эйконала. Методы расчёта волновых полей. Электромагнитные поля в коре Земли. Фильтрация флюидов в пористых средах. Расчёт термических полей в литосфере Земли. Вклад радиоактивности. Континентальная изотерма. Модели формирования океанической литосферы, океаническая изотерма.

## 4. Обратные задачи геофизики

Постановка обратных задач. Задачи на условный и безусловный минимум. Вариационные методы. Понятие корректности по Адамару. Некорректные и условно-корректные обратные задачи. Метод регуляризации А.Н. Тихонова. Обратные задачи теории потенциала. Методы аналитического (аппроксимационного) продолжения, особые точки аномальных полей. Определение интегральных характеристик возмущающих масс. Единственность в рудных и структурных обратных задачах. Обратные задачи сейсмологии. Обратные задачи кинематической сеймики, способы их решения. Сейсмическая томография. Обратные задачи метода поверхностных волн.

## 5. Статистические методы обработки и интерпретации геофизических данных

Вероятностная модель экспериментального материала. Понятие статистической гипотезы. Проверка статистических гипотез. Ошибки первого и второго рода, их вероятности. Правила принятия решений, критерии оптимальности. Случайные процессы. Геофизические поля как случайные процессы. Обнаружение сигналов на фоне помех. Оценки параметров сигналов по выборке. Свойства оценок: состоятельность, несмещённость, эффективность. Оптимальная фильтрация по Колмогорову-Винеру, её применение в задачах разделения и интерполяции аномальных полей. “Предсказывающая” деконволюция в обработке сейсмических записей. Статистическое обоснование метода наименьших квадратов, свойства минимально-квадратических оценок.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Уравнения математической физики [Текст] : учебник для вузов : рек. М-вом образования РФ / А. Н.Тихонов, А. А. Самарский ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— 7-е изд. — М. : Изд-во МГУ ; Наука, 2004 .— 798 с.
2. Методы решения некорректных задач [Текст] / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин - М.Наука,1979
3. Теория вероятностей и случайных процессов. Основы математического аппарата и прикладные аспекты [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Н. Тутубалин .— М. : Изд-во МГУ, 1992 .— 396 с.

#### Дополнительная литература

1. Лекции по математической физике [Текст] / А. Г. Свешников, А. Н. Боголюбов, В. В. Кравцов - М.Изд-во Моск. гос. ун-та : Наука,2004
2. Геодинамика : Геологические приложения физики сплошных сред [Текст]. В 2 ч. Ч. 1, Geodynamics Applications of Continuum Physics to Geological Problems, сборник лекций/Д. Теркот, Дж. Шуберт , -М., Мир, 1985
3. Геодинамика : Геологические приложения физики сплошных сред [Текст]. В 2 ч. Ч. 2, Geodynamics Applications of Continuum Physics to Geological Problems, сборник лекций/Д. Теркот, Дж. Шуберт , -М., Мир, 1985
4. Численные методы [Текст] / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников ; под ред. А. И. Кибзуна - М.Физматлит,2006

### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

При реализации программы дисциплины «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» используются различные образовательные технологии – аудиторные занятия проводятся в виде лекций и семинаров с использованием ПК и компьютерного проектора.

### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Общая и прикладная физика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра прикладной геофизики  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** С.А. Тихоцкий, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» обучающийся должен:

### знать:

- физико-математическую теорию геофизических методов исследований;
- принципы и методы моделирования геофизических полей и процессов;
- основные методы и алгоритмы обработки и интерпретации геофизических данных;
- принципы решения прямых и обратных задач геофизики;
- принципы построения геологических моделей месторождений полезных ископаемых и способы корректировки плана геолого-разведочных работ на основе результатов интерпретации геофизических данных;
- основы методики проведения полевых геофизических исследований и получения геофизических данных.

### уметь:

- на основании информации о геологическом строении, литолого-фациальном и минералогическом составе среды проводить моделирование геофизических полей и процессов;
- на основании данных о значениях наблюдаемых физических полей реконструировать строение и физические свойства геологической среды;
- давать геологическое истолкование результатов обработки и интерпретации геофизических данных.

#### **владеть:**

следующими навыками:

- анализа и обработки первичных геофизических данных;
- использования компьютерных программ анализа и обработки геофизической информации;
- подготовки заданий и отчётов по проектам обработки и интерпретации геофизических данных.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Возможные темы рефератов:

1. Роль физико-математического моделирования в истолковании геофизических данных.
2. Уравнения математической физики, применяемые при решении задач геофизики.
3. Особенности строения реальных геологических сред, определяющие принципы и методы решения прямых и обратных задач геофизики.
4. Теория потенциала, её роль в геофизике.
5. Классификация геофизических методов исследования.
6. Количественная и качественная интерпретация геофизических данных.
7. Вероятностная модель в естествознании и геофизике.
8. Основные методы численного моделирования геофизических полей.
9. Обратные задачи геофизики: особенности постановки и основные подходы к решению.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень контрольных вопросов:

1. Основные уравнения математической физики: теплопроводности, Пуассона, Лапласа, волновое, Гельмгольца, Навье-Стокса, описываемые ими физические процессы и применение в геофизике
2. Численное интегрирование функций. Оптимальные квадратурные формулы. Оценка погрешности квадратур.
3. Методы обработки сейсмических данных. Фильтрация, деконволюция.
4. Методы решения прямой задачи сейсмологии в неоднородной среде. Лучевые и волновые методы.
5. Методы регуляризации при решении обратных задач геофизики. Использование априорной информации. Определение параметров регуляризации.

Примеры контрольных заданий:

1. Нормальное и аномальное поле силы тяжести. Редукции силы тяжести.
2. Методы разделения и трансформаций аномалий потенциальных полей. Истокообразные аппроксимации.
3. Распространение волн в слоистых средах. Преломлённые и отражённые волны. Годографы.
4. Свёрточная модель в сейсморазведке. Преимущества, недостатки и границы применения.
5. Эквивалентность и эпсилон-эквивалентность при решении обратных задач геофизики.

#### **Критерии оценивания**

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в письменной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.