

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О.Ю.ШМИДТА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



**"УТВЕРЖДЕНО"**

на заседании Ученого совета ИФЗ РАН,  
протокол № 11

2014 г.

Директор ИФЗ РАН

С.А. Тихоцкий

**ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОФИЗИКА  
И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

**Рекомендуется для направления подготовки  
научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению  
05.06.01 Науки о земле**

**Направленность «Геофизика, геофизические методы поисков полезных  
ископаемых»**

## **1. Цели и задачи освоения дисциплины**

Целью дисциплины является 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 изучения дисциплины «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» состоят в получении теоретических знаний о математических методах решения прямых и обратных задач и выработке практических навыков по применению этих методов для обработки и интерпретации полевых геофизических данных. Рассматриваются задачи пометодной и комплексной интерпретации геофизических данных, анализа и привлечения априорной геолого-геофизической информации, геологическому истолкованию полученных результатов.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПП:**

Дисциплина «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» преподается аспирантам второго года обучения и представляет дисциплину вариативной части ОПП. Дисциплина «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» базируется на курсе "Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых". Аспиранты, обучающиеся по данному курсу, должны знать основы математического анализа, термины и понятия по курсу Общая геология.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

### **а) универсальных (УК):**

1) Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

### **б) общепрофессиональных (ОПК):**

1) Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области геофизики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий. (ОПК-1);

### **в) профессиональных (ПК):**

1) Способность интегрировать фундаментальные и прикладные разделы геофизики (в том числе гравимагниторазведка, геоэлектрика, сейсмология и сейсморазведка, математическая геофизика, геофизические исследования скважин и интерпретация геофизических данных) и специализированные геологические и геофизические знания (в

том числе о физических процессах, протекающих в Земле, и внутреннем строении Земли и других планет) для решения проблем геологии и геофизики (ПК-1);

2) Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области геофизики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-2);

3) Способность свободно и творчески пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геофизической информации для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (ПК-3);

В результате освоения дисциплины «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» аспирант должен:

1. **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.

2. **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.

3. **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; визуализации геолого-геофизической информации и результатов её обработки и интерпретации; разработки специализированных программ для ЭВМ.

#### **4. Структура и содержание дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины «Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных» составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, из которых аудиторная нагрузка составляет 36 часов (лекции - 30 часов, семинары – 6 часов), самостоятельная работа студентов – 72 часа.

##### **Содержание дисциплины**

###### **Введение**

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

###### **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.

###### **Численные методы**

Задачи аппроксимации и интерполяции функций. Интерполяция полиномами. Наилучшее равномерное приближение. Численное интегрирование функций. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений. Прямые методы. Итерационные методы. Численное решение задач метода наименьших квадратов. Система нормальных уравнений, метод SVD-разложения. Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем. Разностные схемы. Численное решение уравнений в частных производных. Методы конечных разностей и конечных элементов.

###### **Моделирование геофизических полей и процессов. Прямые задачи геофизики.**

Методы расчёта полей времён сейсмических волн в слоистых и трёхмерно-неоднородных средах. Лучевые методы. Метод, основанный на численном решении уравнения эйконала. Методы расчёта волновых полей. Методы расчёта электромагнитных полей в коре Земли. Моделирование миграции флюидов в пористых средах. Расчёт

термических полей в литосфере Земли. Вклад радиоактивности. Континентальная изотерма. Модели формирования океанической литосферы, океаническая изотерма.

### **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 сейсмологии, способы их решения. Сейсмическая томография. Обратные задачи метода поверхностных волн.

### **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.

### **Математическое программирование и организация вычислений**

Принципы построения ЭВМ. Процессор, оперативная память, ПЗУ, системная шина. Периферийные устройства. Операционные системы. Общие принципы организации операционных систем. Многопроцессные и многопоточные системы. Разделение времени, памяти и других ресурсов. Система прерываний. Операционные системы Windows, UNIX (Linux, Free BSD, Sun OS и т.д.). Общие принципы математического программирования. Структурное программирование. Объектно-ориентированное программирование. Пакетный и диалоговый режимы обработки. Управление событиями пользовательского интерфейса. Языки программирования высокого уровня. Объектно-ориентированные языки. Специальные системы математических расчётов. Параллельные вычисления. Организация вычислений в многопроцессорных системах и кластерах.

### Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Курс	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов (трудоемкость в часах)				Формы текущего контроля успеваемости
			лекции	семинары	контроль	самост. работа аспиранта	Форма промежуточной аттестации
1	Введение	2	1			2	Собеседование
2	Методы математической физики	2	4	2		10	Контрольная Собеседование
3	Численные методы	2	5	1		8	Собеседование
4	Моделирование геофизических полей и процессов. Прямые задачи геофизики.	2	5			10	Собеседование
5	Обратные задачи геофизики	2	5	1		20	Собеседование
6	Статистические методы обработки и интерпретации геофизических данных.	2	5	1		12	Собеседование
7	Математическое программирование и организация вычислений	2	5	1		10	Собеседование, Реферат
Итого: 3 З.Е. или 108 часов			30	6		72	

### 5. Рекомендуемые образовательные технологии

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, самостоятельная работа аспирантов подразумевает работу под руководством преподавателя (консультации и помощь в подготовке к контрольным работам) и индивидуальную работу аспиранта в библиотеке ИФЗ РАН и других библиотеках.

### 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

#### 6.1 Примерные темы рефератов по разделам дисциплины

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.

## **6.2 Контрольные вопросы и задания для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

В течение преподавания курса «**Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных**» в качестве форм текущего контроля успеваемости аспирантов используются такие формы, как доклад по теме реферата и его оценка; контрольная работа по темам, требующим владения специальным математическим аппаратом (с отметкой), собеседование в процессе прохождения (контрольные вопросы) и при окончании каждой темы. По итогам выполнения и сдачи контрольной работы и реферата проводится экзамен, на который выделяется 36 часов (суммарное время от начала подготовки по вопросам билета до сдачи экзамена).

Контрольные вопросы:

1. Основные уравнения математической физики: теплопроводности, Пуассона, Лапласа, волновое, Гельмгольца, Навье-Стокса, описываемые ими физические процессы и применение в геофизике.
2. Нормальное и аномальное поле силы тяжести. Редукции силы тяжести.
3. Численное интегрирование функций. Оптимальные квадратурные формулы. Оценка погрешности квадратур.
4. Методы разделения и трансформаций аномалий потенциальных полей. Истокообразные аппроксимации.
5. Методы обработки сейсмических данных. Фильтрация, деконволюция.
6. Распространение волн в слоистых средах. Преломлённые и отражённые волны. Годографы.
7. Методы решения прямой задачи сейсмологии в неоднородной среде. Лучевые и волновые методы.
8. Свёрточная модель в сейсморазведке. Преимущества, недостатки и границы применения.

9. Методы регуляризации при решении обратных задач геофизики. Использование априорной информации. Определение параметров регуляризации.
10. Эквивалентность и эpsilon-эквивалентность при решении обратных задач геофизики.
11. Статистическая постановка задачи качественной интерпретации. Критерии оптимальности.
12. Количественная интерпретация и теория оптимального оценивания.
13. Спектральные методы в задачах обработки и интерпретации геофизических данных.

#### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины: .**

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология, в 2-х томах. М.: Мир. 1983.
2. Аронов В.И. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризации залежей нефти и газа на ЭВМ. -М.:Недра. 1990. 301с.
3. Владимиров В. С.. Уравнения математической физики.- М.: Наука, 1988.512 с
4. Долгаль А.С. Комплексование геофизических методов: учеб. пособие /А.С. Долгаль; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – 167 с.
5. Кучер В.И., Каштан Б.М. Лучевой метод для изотропной неоднородной упругой среды. Изд-во СПбГУ, 1999.
6. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. М.: Наука, 1987.
7. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред. М., Мир., 1985. Т.1, 374 с. Т.2, 230с.
8. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. - М.: Наука. 1986. 288 с.
9. Троян В.Н. Принципы решения обратных геофизических задач. С.-Пб. Изд. СПбГУ. 2007. 197 с.
10. Тутубалин В.Н. Теория вероятностей и случайных процессов. 400 стр. М.: Изд- во МГУ. 1992.
11. Формалев В.Д., Ревизников Д.Л. Численные методы. 2004 г.
12. Яновская Т. В., Порохова Л. Н. Обратные задачи геофизики: Учеб. пособие.- 2-е изд., доп. и перераб. - СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. 214 с.

#### **Дополнительная литература**

К разделу 1:



1. Г. Джеффрис, Б. Свирлс. Методы математической физики. М.: Мир, 1969. Вып. 1. 423 с., М.: Мир, 1970. Вып. 2. 352 с., Вып. 3 344 с.
2. А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1966. 724 с.
3. Я. Б. Зельдович, А. Д. Мышкис. Элементы математической физики. - М.: Наука, 1973. 352 с.
4. В. С. Владимиров. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1988. 512 с.
5. Идельсон Н.И. Теория потенциала и ее приложения к вопросам геофизики. М., Л., ПТИ. 1932. 348 с.
6. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология, в 2-х томах. М.: Мир. 1983.
7. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. М.: Наука, 1987.
8. М.Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. Теория волн. Москва, "Наука", 1979.
9. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Электричество. Москва, Наука, 1983.
10. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Гидродинамика, М., Наука, 1986.
11. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М., Мир, 1986.
12. Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М. Физматгиз. 1962.

К разделу 2:

13. Бахвалов Н.С. Численные методы (Анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения). - М.: Наука. 1973 г. 632 с.
14. Формалев В.Д., Ревизников Д.Л. Численные методы. 2004 г.
15. Лоусон Ч., Хенсон Р. Численное решение задач метода наименьших квадратов. М., Наука, 1986.

К разделу 3:

16. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. - М.: Наука. 1982.
17. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М., Недра, 1965.
18. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред. М., Мир., 1985. Т.1, 374 с. Т.2, 230с.
19. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел, том 2. М.: Мир, 1969.
20. Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение. М., "Иностранная Литература", 1960.
21. Кучер В.И., Каштан Б.М. Лучевой метод для изотропной неоднородной упругой среды. Изд-во СПбГУ, 1999.

К разделу 4:

11. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. - М.: Наука. 1986. 288 с.
12. Яновская Т. В., Порохова Л. Н. Обратные задачи геофизики: Учеб. пособие.- 2-е изд., доп. и перераб. - СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. - 214 с.

К разделу 5:

13. Тутубалин В.Н. Теория вероятностей и случайных процессов. 400 стр. М.: Изд-во МГУ. 1992.
14. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989.
15. В.И.Аронов. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геомеризации залежей нефти и газа на ЭВМ. -М.:Недра. 1990. 301с.

К разделу 6.

16. Гвишиани А.Д., Гурвич В.А.. Динамические задачи классификации и выпуклое программирование в приложениях. М.: Наука. 1992. 360 с.
17. Dubois J.O., Gvishiani A. Dynamic Systems and dynamic classification problems in geophysical applications. Paris: Springer-Verlag, 1998. Book 256 p. 7.
18. Gvishiani A., Dubois J.. Artificial Intelligence and Dynamic Systems for Geophysical Applications. Springer-Verlag, Paris. 2002. 350 p.
19. Мандель И.Д. Кластерный анализ. - М.: Финансы и статистика. 1988. 176 с.
20. Тархов Д.А. Нейронные сети. Модели и алгоритмы. - М.:Радиотехника. 2005. 256 с.

К разделу 7.

21. Гуров В.В., Чуканов В.О. Основы теории и организации ЭВМ Интернет-университет информационных технологий – ИНТУИТ.ру. 2006.
22. Гуров В.В., Ленский О.Д., Соловьев Г.Н., Чуканов В.О. Архитектура, структура и организация вычислительного процесса в ЭВМ типа IBM PC М.: МИФИ, 2002. Под ред. Г.Н. Соловьева.
23. Никитин В.Д., Соловьев Г.Н. Операционные системы. М.:Мир. 1989.
24. В. Э. Фигурнов Windows для начинающих и опытных. М.: Инфра-М. 2006. 768 с.
25. Робачевский А., Немнюгин С., Стесик О. Операционная система UNIX. БХВ-Петербург. 2005 г. 656 с.

26. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. М.: Высш. шк. 1993. 336 с.
27. Мину М. Математическое программирование: Теория и алгоритмы. М.: Наука, 1990. 488 с.
28. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования С. - М: Вильямс. 2005 г. 304 с.
29. В. В. Подбельский Язык СИ++. М: Финансы и статистика, 2001 г. 560 с.
30. Архангельский А.Я. Язык Pascal и основы программирования в Delphi. Учебное пособие. М.: Бином-Пресс. 2004. 796 с.
31. Рыжиков Ю.И. Современный Фортран. М.: орона-принт. 2004 г. 288 с.
32. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Элементы математического моделирования в программных средах MATLAB 5 и Scilab - С.-Пб.: Наука. 2001 г. 288 с.
33. Чен К., Джиблин П., Ирвинг А. Matlab в математических исследованиях. М.: Мир. 2001 г. 346 с.
34. Поршнева С.В. Компьютерное моделирование физических систем с использованием пакета MathCAD. М.: Горячая Линия – Телеком. 2004 г. 320 с.
35. Очков В. Mathcad 12. Для студентов и инженеров. С.-Пб.: БХВ-Петербург. 2005. 464 с.
36. Шмидский Я.К. Mathematica 5. Самоучитель. - М: Диалектика. 2004 г. 592 с.
37. Дьяконов В. Maple 8 в математике, физике и образовании. - М.: Солон-Пресс. 2003 г. 656 с.
38. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. С.-Пб.: Питер. 2006 г. 960 с.
39. Коннолли Т., Бегг К. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. - М: Вильямс. 2003 г. 1436 с.
40. Дунаев С. Java для Internet в Windows и Linux. М.: Диалог-МИФИ. 2004 г. 496 с.
41. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. С.-Пб.: БХВ-Петербург. 2002 г. 600 с.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Специализированные аудитории с возможностью использования компьютерного проектора. Библиотека ИФЗ РАН.

## **9. Краткое содержание дисциплины (аннотация)**

В курсе дисциплины «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.

**Разработчики:**

Институт физики Земли РАН, лаборатория «Фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга», зав. Лабораторией, доктор физ.-мат.наук С.А. Тихоцкий (тел. +7 499 766-26-56).

**Эксперты:**

Геологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, кафедра геофизических методов исследования земной коры, заведующий кафедрой, проф., д.ф.-м.н. А.А. Булычёв (тел. +7 495 939-30-13).