

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

Інституту геофізики

ім. С.І. Субботіна НАН України

академік НАН України

В. Сидарос
(підпис)

В.І. Староєтенко

« 11 » липня 2019 р.



УДК 550.37

Бурахович Т.К.

Електромагнітне поле Землі.

(назва навчальної дисципліни)

ПРОГРАМА

навчальної дисципліни для

третього (освітньо-наукового) рівня, доктор філософії (PhD)

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

Кількість кредитів Європейської кредитної трансферно-накопичувальної
системи (ЄКТС): 2 кредити - 60 годин

за спеціальністю:

103 Науки про Землю

Київ 2019

РОЗРОБЛЕНО ТА ВНЕСЕНО:

Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
(повне найменування вищого навчального закладу)

Робочу програму схвалено та затверджено на засіданні Вченої ради Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (протокол № 5 від 11.07.2019 р.)

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Бурахович Тетяна Констянтинівна – доктор геологічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу глибинних процесів Землі і гравіметрії Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

"Електромагнітне поле Землі"

(за вимогами ECTS)

Мета: ознайомлення з сучасними методами дослідження геоелектричних параметрів глибинних верств Землі – земної кори, верхньої та нижньої мантії, астеносфери та їх зв'язок з геологічною будовою та тектонічними процесами, що протікали та протікають в надрах Землі; з фізико-математичними основами електромагнітних методів; загальними принципами будови апаратури та методики проведення польових робіт; підходами до розв'язку прямих та зворотних задач; прийомами якісної та кількісної інтерпретації; областями застосування геоелектричних методів; основними геолого-геоелектричними критеріями при пошуках та розвідці родовищ корисних копалин, вивченням сейсмічної небезпеки. В рамках цього курсу будуть також показані основні результати, що отримані за останні роки в результаті геоелектричних досліджень в різних регіонах Землі.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є електромагнітні методи дослідження геоелектричних параметрів глибинних верств Землі – земної кори, верхньої та нижньої мантії, астеносфери та їх зв'язок з геологічною будовою та тектонічними процесами, що протікали та протікають в надрах Землі. В рамках цього курсу будуть також показані основні результати, що отримані за останні роки в результаті геоелектричних досліджень в різних регіонах Землі.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни є: оволодіння новітніми теоретичними, методичними, апаратурними технологіями, програмними комплексами обробки даних та інтерпретаційними методиками.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен **знати:**

- фізико-математичні основи усіх базових геоелектричних методів;
- загальні принципи будови апаратури та методики проведення польових робіт;
- підходи до розв'язку прямих та зворотних задач геофізики;
- основи комплексування геоелектричних методів при пошуках та розвідці родовищ корисних копалин, моніторингу геологічного середовища;

вміти:

- працювати з геоелектричними приладами, що вивчалися;
- володіти методикою проведення експериментальних робіт;
- вміти розраховувати аномальні поля та будувати тривимірні геоелектричні моделі; виконувати якісну та кількісну інтерпретацію експериментальних геоелектричних даних.

Кількість годин, відведених навчальним планом на вивчення дисципліни, становить 60 год., із них 22 год. – лекції, 15 год. – практичні заняття, 13 год. – семінари, 10 год. – самостійна робота. Вивчення аспірантами навчальної дисципліни "Електромагнітне поле Землі" завершується складанням екзамену та заліку.

Форми проведення занять: лекції, практичні та семінари. Організація роботи

слухачів навчальної дисципліни передбачає формування поняттєво-категоріального масиву інформації з кожної теми, контрольні питання та самостійні завдання, роботу з науково-технічною літературою, а також розв'язання проблемних наукових задач та ситуацій.

Поточний контроль: здійснюється на заняттях через індивідуальне і перехресне усне опитування, бліцопитування; письмові контрольні роботи; практичні, індивідуальні та самостійні завдання; робота з діаграмами, графіками, схемами; розв'язання творчих задач; самоконтроль, тестова форма оцінювання навчальних досягнень аспірантів тощо.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН
(СТРУКТУРА ЗАЛІКОВОГО КРЕДИТУ)

з навчальної дисципліни "Електромагнітне поле Землі"

(II курс – 1 семестр)

№	Зміст	Лекції, год.	Практичні, год.	Семінари, год.	Самостійна робота, год.	Разом, год.
1	2	3	4	5	6	7

Змістовий модуль 1

**Методика числового моделювання магнітотелуричного та магнітоваріаційного
полів. Електромагнітні дослідження України.**

1	2	3	4	5	6	7
1.1.	Тема 1. Мета та актуальність глибинних геоелектричних методів.	2	-	2	1	5
1.2.	Тема 2. Фізико-математичні основи електромагнітних методів	4	4	2	2	12
1.3.	Тема 3. Спостереження та обробка електромагнітного поля Землі	4	6	2	2	14
1.4.	Тема 4. Природа електропровідності земної кори та верхньої мантії Землі	2	-	2	1	5
1.5.	Тема 5. Експериментальні МТ- та МВ-дослідження території України.	2	-	-	1	3
1.6.	Тема 6. Аномалії електропровідності території України	2	3	2	1	8
1.7.	Тема 7. Землетруси платформної частини України, їх можливі зв'язки з аномально провідними структурами.	4	2	1	1	8
1.8.	Тема 8. Результати геоелектричних досліджень методами АМТЗ та МТЗ та прогнозування корисних копалин УЩ.	2	-	2	1	5
Разом		22	15	13	10	60

Методичне забезпечення навчальної дисципліни забезпечують:

опорні конспекти лекцій, бібліотечні посібники зі списку рекомендованої літератури, електронні посібники, мультимедійні презентації, діючі нормативно-правові законодавчі акти України, довідково-інформаційні інтернет - джерела тощо.

ЗМІСТ НОРМАТИВНО-НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.

Методика числового моделювання магнітотелуричного та магнітоваріаційного полів. Електромагнітні дослідження України.

Тема 1. Мета та актуальність глибинних геоелектричних методів.

Суть глибинних геоелектричних методів. Місце глибинних геоелектричних методів серед інших методів геофізики. Методи геоелектрорзвідки. Електромагнітні методи.

Тема 2. Фізико-математичні основи електромагнітних методів.

Принципова можливість та теорія метода магнітотелуричного зондування. Гальванічні та індукційні спотворення кривих МТЗ. Метод магнітоваріаційного профілювання та його особливості. Методи числового моделювання квазістаціонарних електромагнітних полів. Двовимірне моделювання. Квазітривимірне плівкове моделювання. Тривимірне моделювання. Методика побудови глибинних геоелектричних моделей. Аналіз теоретичних моделей. Моделі серед та програмні комплекси, які забезпечують моделювання магнітоваріаційних полів. Спотворення кривих МТЗ приповерхневими та глибинними гальванічними ефектами. Частотні характеристики аномальних полів геомагнітних варіацій в умовах тривимірної геоелектричної серед. Моделювання магнітотелуричного поля анізотропної серед. Тривимірне теоретичне моделювання глибинних структур. Теоретичні розрахунки тривимірних моделей розподілу питомого електричного опору структур, що містять провідні розломи, що характеризуються поверховим і глибинним закладенням. Чутливість магнітоваріаційного профілювання в умовах різкого обмеження витягнутості провідників. Магнітотелуричні і магнітоваріаційні поля в умовах сильно витягнутих структур, в яких питомий електричний опір змінюється по простяганню.

Тема 3. Спостереження та обробка електромагнітного поля Землі

Апаратура та обладнання для глибинних електромагнітних спостережень. Методика проведення польових робіт. Обробка даних МТЗ і МВП. Система обробки магнітотелуричних і магнітоваріаційних даних PRC_MTMV. Обробка за допомогою програми PTS. Одновимірна інверсія магнітотелуричного поля у точці спостережень.

Тема 4. Природа електропровідності земної кори та верхньої мантії Землі

Електропровідність земної кори. Електронні провідники. Іонні провідники. Проникність та електропровідність гірських порід. Зв'язок електропровідності з геологічними процесами. Зв'язок інтегральної провідності земної кори із твердими провідниками. Електропровідність мантії Землі. Електропровідність і плавлення порід мантії. Зв'язок електропровідності мантії з поліморфними переходами. Механізми електропровідності земної кори та мантії. Анізотропія геоелектричних властивостей

Тема 5. Експериментальні МТ- та МВ- дослідження території України

Наведено результати майже піввікових експериментальних магнітотелуричних і магнітоваріаційних досліджень земної кори та верхньої мантії України. За останні 25 років геофізичні організації геологічних служб України здійснили площадну та профільну зйомку методами МТЗ і МВП по мережі $50 \times 50 \text{ км}^2$ з деталізацією окремих регіонів (Карпатського та Південного по мережі $25 \times 25 \text{ км}^2$) і спостереження на ряді профілів, що відповідають геотраверсам глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ) за відстані між

пунктами реєстрації 5–25 км. У результаті зйомки отримані комплексні значення імпедансів МТ-поля в діапазоні періодів 0,1–1000 с та індукційні вектори для періодів 150 та 1000 або 2000 с у понад 2500 пунктах. Нині нагромаджений величезний експериментальний матеріал і ці роботи показали, що в геоелектричному аспекті як земна кора, так і верхня мантія на території України є істотно неоднорідними.

Тема 6. Аномалії електропровідності території України

Побудова глибинних моделей (2D, квазі3D, 3D) земної кори та верхньої мантії України: Карпатський регіон та прилеглі області, західна частина України, центральна частина України (Кіровоградська аномалія та суміжні регіони), східна частина України, Донецький басейн, ДДЗ, Кримський регіон. Геоелектрична “астеносфера” України та суміжних регіонів. Регіональні аномалії високої електропровідності земної кори та верхньої мантії Землі

Тема 7. Землетруси платформної частини України, їх можливі зв'язки з аномально провідними структурами.

Дослідження геофізичних параметрів літосфери сейсмоактивних и асейсмічних регіонів. Внутрішньоплитові землетруси. Проявлення сейсмічної активності та регіональні аномалії глибинної високої електропровідності в земній корі та верхній мантії на прикладі Австралії, Північної та Південної Америк, Африці, Євразії, Східноєвропейської платформи. Внутрішньоплитові землетруси та аномалії високої електропровідності платформної території України. Швидкісна будова мантії під Добруджею. Розподіл електропровідності в надрах Північної Добруджі та Переддобрузького прогину. Побудова 3D геоелектричної моделі. Тривимірна геоелектрична модель. Прояв сейсмічності на території Північної Добруджі і Переддобрузького прогину. Швидкісна будова мантії під Кримським півостровом. Розподіл електропровідності в надрах Кримського півострову. Глибинна геоелектрична модель тектоносфери Криму.

Тема 8. Результати геоелектричних досліджень методами АМТЗ та МТЗ та прогнозування корисних копалин УЩ.

Геоелектричні критерії алмазоносності кори та верхньої мантії Землі. Геоелектричні аномалії та алмазоносність УЩ. Прогнозування корисних копалин у докембрії на основі створення геолого-геофізичних моделей шовних зон УЩ. Тривимірна геоелектрична модель земної кори Кіровоградського рудного району УЩ та корисні копалини. Аномалії електропровідності УЩ як зони можливого проявлення глибинних флюїдів.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ БІЛЕТИ

Екзаменаційний білет № 1

1. Методи глибинної геоелектрики.
2. Магнітоваріаційні та магніотелуричні параметри поздовжньо–неоднорідних структур.
3. Аномалії електропровідності Прип'ятського прогину, ДДЗ і Донбасу.

Екзаменаційний білет № 2

1. Іоносферно–магнітосферне джерело електромагнітного поля Землі.
2. Спотворення кривих МТЗ поверхневими і глибинними гальванічними ефектами.
3. Кіровоградська аномалія електропровідності та її параметри.

Екзаменаційний білет № 3

1. Варіації геомагнітного поля Землі.
2. Частотні характеристики аномального поля геомагнітних варіацій в умовах тривимірного геоелектричного середовища (актуальність; порівняльний аналіз електромагнітних полів двовимірної, квазітривимірної плівкової і тривимірної моделей витягнутих провідних структур).
3. Електропровідність земної кори.

Екзаменаційний білет № 4

1. МТЗ і його особливості.
2. Методи математичного моделювання електромагнітного поля.
3. Карпатська аномалія електропровідності та її параметри.

Екзаменаційний білет № 5

1. ТМ– і ТЕ–моди електромагнітного поля.
2. Про методи розв'язання прямих задач електророзвідки.
3. Електронні провідники.

Екзаменаційний білет № 6

1. Гальванічні та індукційні спотворення кривих МТЗ.
2. Модель середовища та програми забезпечення моделювання електромагнітних полів.
3. Типи флюїдів.

Екзаменаційний білет № 7

1. Область застосування методу МТЗ і його модифікації.
2. Характеристика провідності поверхневих відкладень різних регіонів України.
3. Проникність і електропровідність порід.

Екзаменаційний білет № 8

1. МВП і його особливості.
2. Частотні характеристики аномального поля геомагнітних варіацій в умовах тривимірного геоелектричного середовища (порівняльний аналіз частотних характеристик аномального магнітного поля над двовимірними моделями електропровідних циліндрів з різним прямокутним перетином).
3. Аномалії електропровідності УЩ.

Екзаменаційний білет № 9

1. МТЗ і його особливості.
2. Зв'язок електропровідності з геологічними процесами.
3. Аномалії електропровідності Добрудзьсько–Кримського регіону.

Екзаменаційний білет № 10

1. МВП і його особливості.
2. Іонні провідники.
3. Аномалії електропровідності УЩ і ВПП.

Екзаменаційний білет № 11

1. Гальванічні та індукційні спотворення кривих МТЗ.
2. Електропровідність і плавлення порід мантиї.
3. Карпатська аномалія електропровідності та її параметри.

Екзаменаційний білет № 12

1. Модель Тихонова–Каньяра.
2. Зв'язок інтегральної провідності земної кори з твердими провідниками.
3. Аномалії електропровідності Кримського регіону.

Екзаменаційний білет № 13

1. МТЗ і його особливості.
2. Нормальні геоелектричні розрізи.
3. Зв'язок електропровідності мантиї з поліморфними переходами.

Екзаменаційний білет № 14

1. МВП і його особливості.
2. Механізм електропровідності земної кори і мантиї.
3. Кіровоградська аномалія електропровідності і її параметри.

Екзаменаційний білет № 15

1. Методика чисельного моделювання магнітотелуричних і магнітоваріаційних полів.
2. Аномалії електропровідності ДДЗ і Донбасу.
3. Природа аномалій електропровідності.

Список рекомендованої літератури**Основна**

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. – М.: Научный мир, 2009. – 680 с.
2. В.В. Белявский, Т.К. Бурахович, С.Н. Кулик, В.В. Сухой. Электромагнитные методы при изучении Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Знання, 2001, 228 с.
3. Кулик С.Н., Бурахович Т.К. Магнитовариационные и магнитотеллурические параметры продольно-неоднородных структур Физика Земли, т.46, №9, 2010, С. 27-34.
4. Дмитриев В.И., Бердичевский М.Н. Обобщенная модель импеданса. // Физика Земли. – 2002. - №10. – С. 106-112.
5. Семенов В. Ю. Обработка данных магнитотеллурического зондирования. М.; "Недра", 1985 – 133 с.
6. Varentsov Iv. M. Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis // EM sounding of the Earth's interior (Methods in geochemistry and geophysics, 40). New York: Elsevier. 2007. P. 263-277.
7. Ширков Б.І., Гищук О.В., Кушнір А.М. Геоелектричні дослідження Белгородсько-Сумського мегаблоку північного борту Дніпрово-Донецької западини. Геофиз. журн. 2015. т.37. №5. С. 176-182.
8. Варенцов Ив.М. Программная система PRC_MTMV для обработки данных синхронных МТ/МВ зондирований. Материалы VI Всероссийской школы-семинара имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям Земли – ЭМЗ-2013 [Электронное издание] / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т нефтегазовой

геологии и геофизики им. А.А. Трофимука . – Новосибирск : ИНГТ СО РАН, 2013. – Режим доступа: <http://emf.ru/ems2013/section1/Варенцов.pdf>, свободный.

9. Пристай А. Н., Проненко В. А., Корепанов В. Е., Ладановский Б. Т. Роль электрических измерений при глубинном магнитотеллурическом зондировании Земли. Геофизический журнал. - 2014. - Т. 36, № 6. - С. 173-182. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/gfj_2014_36_6_12.pdf

10. Корепанов В.Е., Трегубенко В.И. Особенности построения и тенденция развития современной аппаратуры для МТ и МВ зондирований // Геофиз.журн. 2009. т.31. №4. С. 181–190.

11. Ваньян Л.Л., Хайндман Р.Д. О природе электропроводности консолидированной коры // Фи-зика Земли. 1996. № 4. С.5-11.

12. Ваньян Л.Л., Шиловский П.П. Электропроводность и флюидонасыщенность земной коры // Астеносфера по комплексу геофизических методов. Киев: Наукова думка, 1988, - с. 20-25. 1.

13. Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Пигулевский П.И., Захаров В.В., Курлов А.К., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Сетая Л.Д. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита // 2006, Киев, «Наукова думка», 196с.

14. Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Пигулевский П.И., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Сетая Л.Д., Захаров В.В., Курлов Н.К. Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита //2008, Донецк, «Вебер», 305 с.

15. Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Есипчук К.Е., Анциферов В.А., Пигулевский П.И., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Кривдык С.Г., Загнитко В.Н., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Сетая Л.Д., Зюльцле В.В., Никиташ Л.П. Геолого-геофизическая модель Немировско-Кочеровской шовной зоны Украинского щита 2009, Донецк, «Вебер», 253 с.

16. Шеремет Е.М., Кривдик С.Г., Пигулевский П.И., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Загнитко В.Н., Бородиня Б.Н., Стрекозов С.Н., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Сетая Л.Д., Алехин В.И. Субщелочной докембрийский магматизм и тектоно-геофизические особенности Восточного Приазовья Украинского щита. Донецк.: «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2010. – 289 с.

17. Кулик С.Н., Бурахович Т.К. Трехмерная модель Кировоградской аномалии электропроводности Геофиз.ж 2007, т.29, №1 С.45-55.

18. Бурахович Т.К., Ширков Б.И., Кушнир А.М., Зайцев Г.М. Аномальна електропровідність земної кори східної частини Приазовського мегаблоку Вісник Київського університету. Геологія. – 2013. – Випуск 60. – С. 12-16.

19. Кулик С.Н. Северная ветвь Евразийских аномалий электропроводности/ Геофизический журнал, №4, Т.31, 2009, С.168-180.

20. Бурахович Т.К., Кулик С.Н., Логвинов И.М. Геоэлектрическая модель земной коры и верхней мантии Преддобружского прогиба и Северной Добруджи // Геофизический журнал, №4, Т.17, 1995, С.81-87;

21. Бурахович Т.К. Квазитрехмерная геоэлектрическая модель Карпатского региона // Геофиз.ж 2004, т.26 №4 С.63-74

22. Кушнир А.Н., Кулик С.Н., Бурахович Т.К. Сейсмичность платформенных регионов Украины в областях аномалий электропроводности Физика Земли, № 3, 2013, С.95-104. (на англ. мові) [Kushnir A. N., Kulik S. N.†, and Burakhovich T. K. Seismicity in the Platform Regions of Ukraine in the Zones of Anomalous Electrical Conductivity Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2013, Vol. 49, No. 3, pp. 392–401.]

23. Старостенко В.И., Бурахович Т.К., Кушнир А.Н., Легостаева О.В., Цветкова Т.А., Шумлянская Л.А., Шеремет Е.М. Возможная природа сейсмической активности недр Преддобружского прогиба и Северной Добруджи Геофиз. журн. 2013, т.35, №1 С.67-74.

Додаткова

24. Mackie R.L., Smith J.T. and Madden T.R. *Three dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: the magnetotelluric example.*// Radio Science. — 1994. — 29. — P. 923-935
25. Shankland, T. J., A. G. Duba, Yousheng Xu, Brent Poe, and David Rubie, "Electrical Conductivity With Depth As Determined By Laboratory Measurements," Proceedings of the 14th Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth, Sinaia, Romania, Vergiliu, Bucharest, 90, (1998).
26. Neal S.L. Variations in the electrical conductivity of the upper mantle beneath North America and the Pacific Ocean. 1998. MS Thesis, Indiana University, Bloomington.
27. Schmuker U. Anomalies of geomagnetic variations in the south-western United States. Bull. Scripps Inst. Ocean. 1970. V.13. P.1-165.
28. Semenov V.Yu., W. Jozwiak Model of the geoelectrical structure of the mid- and lower mantle in the Europe-Asia region. Geoph. J. Int. 1999. 138. P. 549-552
29. Semenov V.Yu., Kulik S.N., Logvinov I.M. Estimations of the geoelectrical structure of the mantle in Ukraine. Доп. НАНУ. 1996. 12. С. 134-137.
30. Tarits P. Conductivity and fluids in oceanic mantle. Phys. of the Earth and Plan. Inter. 1986. 42, №4. P.215-222.
31. Omura K. Change of Electrical conductivity of olivine associated with olivine-spinel transition . Phys. of the Earth and Plan. Inter. 1991. 65. P.292-307.
32. Watson E.B., Brenan J.M. Fluids in the lithosphere, 1. Experimentally-determined wetting characteristics of CO₂-H₂O fluids and their implications for fluid transport, host-rock physical properties, and fluid inclusion formation, 1987. EPSL. 85. P. 497-515.
33. Летников Ф.А., Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования. Смирновский сборник., М, 1999, с. 63-98.
34. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли. Докл. РАН, т.390, N5, 2003, с.673-675.
35. Кушнир А.Н., Бурахович Т.К. Аномалии электропроводности и внутриплитовые землетрясения западной части Украинского щита и Вольно-Подольской плиты Геофиз. ж. 2012, т.34, №4 С.157-165.