

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.І. Старостенко
(підпис)

« 19 » червня 2016 р.

УДК 001.89

Орлюк М.І., Бахмутов В.Г.

Магнітне поле Землі. Палеомагнетизм.

(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): 4 кредити - 120 годин

за спеціальністю:

103 Науки про Землю

Київ 2016

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 № 6 від 10.06.2016 р.)

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Орлюк Михайло Іванович – доктор геологічних наук, професор, завідувач відділу геомагнетизму Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

Бахмутов Володимир Георгійович - доктор геологічних наук, завідувач відділу петромагнетизму і морської геофізики Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

"Магнітне поле Землі. Палеомагнетизм."

(за вимогами ECTS)

Мета: Розширити знання щодо просторово-часової структури сучасного та історичного геомагнітного поля, технологій та результатів геомагнітних досліджень, а також навиків їх практичного застосування для вирішення фундаментальних та прикладних завдань геології, геофізики і екології. Ознайомити студентів з теоретичними основами магнетизму гірських порід і палеомагнетизму, вимірювальною апаратурою, методиками проведення польових робіт і інтерпретацією результатів вимірювань, області застосування методів магнетизму гірських порід і палеомагнетизму при вирішенні різних геологічних завдань.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є магнітне поле Землі, його просторово-часова структура та природа внутрішніх і зовнішніх джерел

Основними **завданнями** вивчення дисципліни є:

Засвоєння особливостей сучасного стану просторово-часової структури геомагнітного поля; методів його спостереження та аналізу; результатів геомагнітних досліджень та їх застосування стосовно будови та розвитку різних шарів та Землі в цілому.

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

- основні характеристики сучасного та історичного геомагнітного поля;
- сучасні методи спостереження, аналізу та технології геомагнітних досліджень;
- результати сучасних досліджень магнітного поля, його просторово-часових змін і магнітного моделювання;
- фізичні та геологічні основи магнетизму і палеомагнетизму гірських; можливості і обмеження даних методів при вирішенні геологічних задач;
- застосування результатів у міждисциплінарних дослідженнях.

вміти:

- розробляти різноманітні та різномасштабні цифрові карти геомагнітного поля;
- виконувати якісну та кількісну інтерпретацію магнітних аномалій;
- використовувати програмно-алгоритмічний комплекс 3D магнітного моделювання для розробки різномасштабних магнітних моделей літосфери Землі;
- інтерпретувати та тлумачити результати магнітного моделювання у комплексі з

іншими геолого-геофізичними даними;

- використовувати методи магнетизму і палеомагнетизму при вирішенні різних геологічних задач і при пошуках родовищ корисних копалин.

Аспірант повинен володіти навичками різних методик магнетизму, палеомагнетизму і прийомами інтерпретації результатів досліджень; теоретичними знаннями про фізичні основи магнетизму гірських порід і палеомагнетизму; орієнтуватися в методах геомагнетизму і палеомагнетизму з метою коректного їх використання; набути навичок інтерпретації результатів даних методів.

Кількість годин, відведених навчальним планом на вивчення дисципліни, становить 120 год., із них 20 год. – лекції, 20 год. – практичні заняття, 10 год. – семінари, 70 год. – самостійна робота. Вивчення аспірантами навчальної дисципліни "Магнітне поле Землі. Палеомагнетизм." завершується складанням 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 "Магнітне поле Землі. Палеомагнетизм."

(II курс – 1 та 2 семестр)

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

Змістовий модуль 1
Магнітне поле Землі

1	2	3	4	5	6	7
1.1.	Тема 1. Історичні аспекти дослідження магнітного поля Землі.	2	-	-	4	6
1.2.	Тема 2. Методи наземних, аеро- та супутникових спостережень та аналізу геомагнітного поля.	2	-	-	4	6
1.3.	Тема 3. Розробка та аналіз різномасштабних цифрових карт геомагнітного поля.	2	-	-	8	10
1.4.	Тема 4. Головне магнітне поле Землі. Магнітосфера Землі.	2	-	-	8	10
1.5.	Тема 5. Просторово-часова структура сучасного геомагнітного поля. Внутрішні та зовнішні джерела.	2	4	2	6	14
1.6.	Тема 6. Технологія магнітного моделювання та магнітні моделі літосфери Землі.	2	4	3	5	14
Разом		12	8	5	35	60

Змістовий модуль 2
Основи магнетизму гірських порід і палеомагнетизму

1	2	3	4	5	6	7
2.1.	Тема 1. Фізичні основи магнетизму гірських порід і мінералів	2	2	-	7	11
2.2.	Тема 2. Апаратура магнітно-мінералогічного аналізу, вимірювання природної залишкової намагніченості і магнітної сприйнятливості.	2	6	-	7	15
2.3.	Тема 3. Палеомагнітні напрямки та палеомагнітні полюси	1	2	2	7	12
2.4.	Тема 4. Палеомагнетизм і магнітостратиграфія.	2	2	-	7	11
2.5.	Тема 5. Палеомагнетизм і тектоніка.	1	-	3	7	11
Разом		8	12	5	35	60
Всього		20	20	10	70	120

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.

Магнітне поле Землі

Тема 1. Історичні аспекти дослідження магнітного поля Землі.

Історико-наукові аспекти розвитку магнітометрії.

Еволюція поглядів на предмет, методи і результати геомагнітних.

Періодизація історії магнітометрії.

Прилади і технології для вимірів абсолютних та відносних геомагнітних вимірів та їх значення щодо дослідження просторово-часової структури геомагнітного поля.

Застосування магніторозвідки при вивченні глибинної структури земної кори та верхньої мантії, прогнозуванні рудних та горючих корисних копалин, а також міждисциплінарних досліджень сейсмотектонічного та екологічного спрямування.

Тема 2. Методи наземних, аеро- та супутникових спостережень та аналізу геомагнітного поля.

Прилади для наземних, морських, аеро-, страто- та супутникових спостережень.

Технології наземних, морських, аеро-, страто- та супутникових спостережень.

Магнітні обсерваторії та пункти вікового ходу.

Технології магнітного картування.

Тема 3. Розробка та аналіз різномасштабних цифрових карт геомагнітного поля.

Типи та масштаби магнітних зйомок.

Силкові (B_x , B_y , B_z) та кутові (D , J) елементи геомагнітного поля.

Розробка карт аномального магнітного поля та модуля індукції B .

Технологія розрахунку та побудови карт повних та аномальних значень компонент геомагнітного поля.

Цифрова карта аномального магнітного поля Землі (WDMAM).

Тема 4. Головне магнітне поле Землі. Магнітосфера Землі.

Внутрішнє магнітне поле Землі та його просторова структура.

Магнітосфера Землі.

Магнітний потенціал. Сферичний гармонічний аналіз.

Геомагнітні та магнітні полюси Землі.

Моделі головного (нормального) геомагнітного поля (DGRF/IGRF – Definitive Geomagnetic Reference Field/International Geomagnetic Reference Field)

Фізичні теорії головного магнітного поля Землі.

Тема 5. Просторово-часова структура сучасного геомагнітного поля. Внутрішні та зовнішні джерела

Магнітне поле Землі та його часові зміни.

Внутрішні та зовнішні джерела геомагнітного поля.

Нормальне та аномальне магнітне поле.

Віковий хід, варіації та збурення геомагнітного поля.

Тема 6. Технологія магнітного моделювання та магнітні моделі різномасштабних та різнотипових структур літосфери Землі.

Аналіз геомагнітного поля. Розділення на регіональну та локальну складову.

Програмно-алгоритмічний комплекс тривимірного магнітного моделювання (В.Н.Коваленко-Завойського та І.М.Іващенко).

Методика побудови магнітних моделей земної кори.

Типові магнітні моделі різномасштабних тектонічних структур.

Різнномасштабні магнітні моделі літосфери Землі.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2.

Основи магнетизму гірських порід і палеомагнетизму

Тема 1. Фізичні основи магнетизму гірських порід і мінералів.

Фізичні основи магнетизму гірських порід. Діамагнетики, парамагнетики, феро- і ферімагнетики. Залежності магнітної сприйнятливості діа-, пара- і феромагнетиків від напруженості магнітного поля і температури. Види енергій (кристалографічна, магнітостатична, магнітна і ін.). Доменна структура феромагнетиків, критерії визначення доменного стану. Критичний розмір однодомених часток. Релаксаційні процеси, суперпарамагнетизм. Природна залишкова намагніченість (ПЗН) гірських порід, види залишкової намагніченості (термозалишкова, хімічна орієнтаційна, в'язка). Основні магнітні мінерали гірських порід: титаномagnetити, гемоільменіти, пірротин. Температури Кюрі (T_c) твердих розчинів, їх залежність від складу.

Тема 2. Апаратура магнітно-мінералогічного аналізу, вимірювання природної залишкової намагніченості і магнітної сприйнятливості.

Апаратура магнітно-мінералогічного аналізу: виміри магнітної сприйнятливості, природної залишкової намагніченості, залежності індуктивної і залишкової намагніченості від прикладеного магнітного поля і температури. Діагностика

феррімагнітних мінералів гірських порід магнітно-мінералогічними методами. Виміри анізотропії магнітної сприйнятливості гірських порід. Апаратура для палеомагнітного аналізу. Використання методів магнетизму гірських порід для вирішення стратиграфічних, тектонічних і петрологічних завдань.

Тема 3. Палеомагнітні напрямки та палеомагнітні полюси.

Основні постулати палеомагнетизму. Методика відбору зразків для палеомагнітного аналізу. Інверсії, екскурси, вікові варіації геомагнітного поля. Структура давнього геомагнітного поля. Стабільність ПЗН, час утворення ПЗН (давня, метахронна, в'язка та ін). Виділення компонент ПЗН, магнітні чистки. Статистичні методи обробки векторних даних, основи компонентного аналізу. Статистика палеомагнітних даних, розподіл Фішера, середньосайтові напрямки. Польові тести стабільності ПЗН. Статистика на сфері, визначення палеомагнітних полюсів. Визначення напруженості давнього магнітного поля по магматичним і осадовим породам. Генерація геомагнітного поля і палеомагнетизм.

Тема 4. Палеомагнетизм і магнітостратиграфія.

Загальні положення стратиграфії на основі магнітної полярності. Побудова часової шкали геомагнітної полярності. Морські магнітні аномалії. Ієрархія структурних елементів геомагнітного поля, інверсії, епізоди, екскурси. Біостратиграфічне калібрування. Проблеми похибки нахилання в осадових породах. Перемагнічування гірських порід. Прикладні аспекти магнітохронологічних досліджень.

Тема 5. Палеомагнетизм і тектоніка.

Палеомагнітні полюси і палеогеографічні карти. Траєкторія позірної міграції полюса. Світова база палеомагнітних даних. Палеогеографічні реконструкції континентів. Сучасні уявлення про дрейф континентів для протерозою та фанерозою (на прикладі Східноєвропейської і Сибірської платформ). Палеомагнітизм і регіональна тектоніка.

Питання до заліку:

- 1.Історично-наукові аспекти розвитку магнітометрії.
- 2.Прилади для наземних, морських, аеро-, страто- та супутникових спостережень.
- 3.Технології наземних, морських, аеро-, страто- та супутникових спостережень.
- 4.Магнітні обсерваторії та пункти вікового ходу.
- 5.Силкові (B_x , B_y , B_z) та кутові (D , J) елементи геомагнітного поля.
- 6.Розробка карт аномального магнітного поля та модуля індукції B .
- 7.Технологія розрахунку та побудови карт повних та аномальних значень компонент геомагнітного поля.
- 8.Внутрішнє магнітне поле Землі та його просторова структура.
- 9.Магнітосфера Землі.
- 10.Магнітний потенціал. Сферичний гармонічний аналіз.
- 11.Геомагнітні та магнітні полюси Землі.
- 12.Моделі головного (нормального) геомагнітного поля (DGRF/IGRF – Definitive Geomagnetic Reference Field/International Geomagnetic Reference Field)
- 13.Фізичні теорії головного магнітного поля Землі.
- 14.Магнітне поле Землі та його часові зміни.
- 15.Внутрішні та зовнішні джерела геомагнітного поля.
- 16.Нормальне та аномальне магнітне поле.
- 17.Віковий хід, варіації та збурення геомагнітного поля.
- 18.Аналіз геомагнітного поля. Розділення на регіональну та локальну складову.
- 19.Математичне забезпечення тривимірного магнітного моделювання
- 20.Методика побудови магнітних моделей земної кори.
- 21.Типові магнітні моделі різномасштабних тектонічних структур.
- 22.Різнномасштабні магнітні моделі літосфери Землі.
- 23.Фізична природа магнетизму.
- 24.Магнітна сприйнятливість гірських порід.
- 25.Характерні ознаки діа-, пара- і феромагнетиків.
- 26.Намагніченість, магнітна проникливість і магнітна сприйнятливість.
- 27.Доменна структура феромагнетиків.
- 28.Загальні особливості магнітних властивостей гірських порід.
- 29.Магнітні властивості гірських порід і методи їх визначення.
- 30.Намагнічування тіл в магнітному полі і характеристика намагнічування
- 31.Методи і апаратура палеомагнітних досліджень.
- 32.Природна залишкова намагніченість гірських порід.
- 33.Основні магнітні мінерали гірських порід.

34. Анізотропія магнітної сприйнятливості.
35. Апаратура для палеомагнітного аналізу.
36. Структура давнього геомагнітного поля.
37. Стабільність природної залишкової намагніченості, польові тести.
38. Напруженість давнього геомагнітного поля, методи її визначення.
39. Розрахунок палеомагнітних напрямків.
40. Палеомагнітний полюс: поняття, розрахунок, траєкторія позірної міграції полюса.
41. Шкали геомагнітної полярності.
42. Магнітохронологія і магнітостратиграфія.
43. Палеогеографічні реконструкції по палеомагнітним даним.
44. Палеомагнетизм в рішенні задач тектоніки.
45. Використання методів магнетизму гірських порід для вирішення стратиграфічних, тектонічних і петрологічних задач.

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Яновский Б.М. Земной магнетизм, Изд-во Ленинградского Ун-та—1978.—592с.;
2. Блох Ю.И. Теоретические основы комплексной магниторазведки/ Блох Ю.И. —М.: - 2012. – 160с. Режим доступа:<http://sigma3d.com/pdf/books/blokh-complex.pdf>
3. Гордин В.М. Очерки по истории геомагнитных измерений. —М. ИФЗ РАН, — 2004. — 162с.
4. Сергеев В.А., Циганенко Н.А.. Магнитосфера Земли. – Наука,-М.- 1975.;
5. Пашкевич И.К., Марковский В.С., Орлюк М.И. и др. Магнитная модель литосферы Европы / Под ред. Г.И.Каратаева. — Киев: Наук.думка, 1990.
6. Петромагнитная модель литосферы . — Киев: Наук. думка, 1994. — 176с.
7. Chulliat, A., S. Macmillan, P. Alken, C. Beggan, M. Nair, B. Hamilton, A. Woods, V. Ridley, S. Maus and A. Thomson, 2015, The US/UK World Magnetic Model for 2015-2020: Technical Report, National Geophysical Data Center, NOAA. doi: 10.7289/V5TB14V7;
8. Chulliat, A., P. Alken, M. Nair, A. Woods, and S. Maus, 2015, The Enhanced Magnetic Model 2015-2020, National Centers for Environmental Information, NOAA. doi: 10.7289/V56971HV; Maus, S. et al., 2009. EMAG2: A 2-arc min resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q08005. doi:10.1029/2009GC002471;
9. Purucker, Michael E.; Whaler, Kathryn A. "6. Crustal magnetism". In Kono, M. *Geomagnetism* (PDF). *Treatise on Geophysics* 5. Elsevier. p. 195–236. ISBN 978-0-444-52748-6
10. Mandeа M., Korte M. (eds.), 2011. Geomagnetic Observations and Models. IAGA Special Sopron Book Series; Vol. 5. 343 p. doi: <http://doi.org/10.1007/978-90—481-9858-0>.
11. Бахмутов В.Г. Палеовековые геомагнитные вариации. Киев, Наук. Думка, 2006. - 298с.
12. Butler R.F. Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. —Blackwell, Oxford. — 1992. — 319p.

13. Merrill R.T., McElhinny M.W., McFadden P.L. The magnetic field of the Earth: paleomagnetism, the Core, and the Deep Mantle. — USA: Academic press, 1996. — 531p.

Додаткова

1. Акасофу С.И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. Т.1 и 2.-Мир.-1975.;
2. Крутиховская И.К., Пашкевич И.К., Силина И.М. Магнитная модель и структура земной коры Украинского щита.—К.: Наукова думка, 1982.—216с.
3. Коваленко-Завойський В.М. Иващенко І.М. Математичне забезпечення інтерпретації поля ΔB_a регіональних магнітних аномалій // Геофізичний журнал. — 2006—Т.28, №5.
4. Thebaud E., Finlay C. C., Beggan C. D., Alken P., Aubert J., Barrois O., Bertrand F., Bondar T., Boness A., Brocco L., Canet E., Chambodut A., Chulliat A., Coisson P., Civet F., Du A., Fournier A., Fratter I., Gillet N., Hamilton B., Hamoudi M., Hulot G., Jager T., Korte M., Kuang W., Lalanne X., Langlais B., Leger J. M., Lesur V., Lowes F. J., 2015. Special issue «International Geomagnetic Reference Field— the twelfth generation». Earth Planet. Space 67:79. <https://doi.org/10.1186/s40623-015-0313-0>
5. Нечаев С.В. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск, Изд-во Института географии им. В.Б.Сочавы СО РАН. —2006. — 140с.
6. Purucker M. E., Clark D. A., 2011. Mapping and interpretation of the Lithospheric Magnetic Field. In: M. Manda, M. Korte (eds.). Geomagnetic Observations and Models. IAGA Special Sopron Book Series Vol. 5, P. 311—337. doi: 10.1007/978-90—481-9858-0.
7. Орлюк М. И. Роменец А. А. Структура и динамика главного магнитного поля Земли на ее поверхности и в ближнем космосе//Odessa astronomical publications. 2011. Т. 24.С. 124—129.
8. Орлюк М.И., Марченко А.В., Иващенко И.Н. Расчет компонент геомагнитного поля на примере Одесской магнитной аномалии// Геодинаміка.—2014. —№1(16). — С. 96-102.
9. Орлюк М.И., Марченко А.В., Роменец А.А. Пространственно-временные изменения геомагнитного поля и сейсмичность// Геофизич. Журнал. — 2017. — т.39, № 6. — С.84-105.
10. Старостенко В.И., Шуман В.Н., Иващенко И.Н., Легостаева О.В., Савченко А.С., Скриник О.Я. Магнитные поля трехмерных анизотропных тел: теория и практика вычислений // Физика Земли.—2009. —№8.