

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)

« 11 » липня 2019 р.

УДК 550.312

Якимчик А.І., Макаренко І.Б.

Гравітаційне 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:

Якимчик Андрій Іванович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу глибинних процесів Землі та гравіметрії Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України;

Макаренко Ірина Борисівна – кандидат геолого-мінералогічних наук, провідний науковий співробітник відділу глибинних процесів Землі та гравіметрії Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

"Гравітаційне поле Землі"

(за вимогами ECTS)

Мета: надати аспірантам фундаментальні знання про поле сили тяжіння Землі, його основні параметри, забезпечити формування знань про можливості обробки та інтерпретації спостережених даних гравітаційних полів для різних прикладних задач.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є гравітаційне поле Землі.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни є:

- ознайомити із термінологічним апаратом гравіметрії;
- охарактеризувати фізико-математичні основи гравіметрії;
- пояснити загальні принципи обробки спостережених даних;
- набуття аспірантами необхідних методологічних знань з якісної та кількісної інтерпретації гравіметричних даних;
- засвоєння аспірантами базових знань із областей застосування гравіметрії;
- пояснити суть апроксимаційного підходу В.М. Страхова;
- охарактеризувати деякі комп'ютерні технології гравітаційного моделювання.

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

- основні поняття про гравітаційне поле Землі;
- нормальне значення сили тяжіння;
- фізико-математичні основи гравіметрії;
- граничні задачі теорії потенціалу;
- методику гравірозвідки;
- методи обробки та інтерпретації гравіметричних спостережень;
- основні принципи якісної та кількісної інтерпретації гравітаційних аномалій;
- види трансформацій гравітаційних полів;
- супутникові методи спостережень;
- прямі та обернені задачі гравірозвідки;
- супутникові проекти вивчення гравітаційного поля Землі;
- технологію 3D гравітаційного моделювання.

вміти:

- оцінювати ефективність застосування методів гравіметрії;
- обчислювати аномалії сили тяжіння;
- виконувати якісну і кількісну інтерпретацію гравіметричних даних;
- застосовувати комплекс інтерпретації потенціальних полів GMT-Auto;
- використовувати сервіс розрахунку гравітаційних моделей ICGEM.

Кількість годин, відведених навчальним планом на вивчення дисципліни, становить 60 год., із них 20 год. – лекції, 20 год. – практичні заняття, 10 год. – семінари, 10 год. – самостійна робота. Вивчення аспірантами навчальної дисципліни "Гравітаційне поле Землі" 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 " Гравітаційне поле Землі "

(ІІ 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

Теоретичні основи, загальна характеристика та методи вивчення гравітаційного поля Землі. Методи інтерпретації гравітаційних аномалій.

1	2	3	4	5	6	7
1.1.	Тема 1. Загальна характеристика гравітаційного поля Землі.	2	1	1	1	6
1.2.	Тема 2. Нормальне гравітаційне поле і фігура Землі.	2	2	1	1	6
1.3.	Тема 3. Гравіметричні зйомки.	2	2	1	1	6
1.4.	Тема 4. Редукції сили тяжіння.	2	2	1	1	6
1.5.	Тема 5. Супутникові методи спостережень для визначення глобальних особливостей поля сили тяжіння і фігури Землі.	2	3	1	1	6
1.6.	Тема 6. Прямі та обернені задачі гравірозвідки.	2	2	1	1	6
1.7.	Тема 7. Трансформації гравітаційного поля.	2	2	1	1	6
1.8.	Тема 8. Апроксимаційний підхід В.М. Страхова розв'язку задач гравіметрії.	2	1	1	1	6
1.9.	Тема 9. Технологія 3D гравітаційного моделювання.	2	2	1	1	6
1.10	Тема 10. Сучасний комплекс інтерпретації потенціальних полів GMT-Auto.	2	3	1	1	6
Разом		20	20	10	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.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ, ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ. МЕТОДИ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ГРАВІТАЦІЙНИХ АНОМАЛІЙ.

Тема 1. Загальна характеристика гравітаційного поля Землі.

Закон всесвітнього тяжіння. Гравітаційна стала. Розмірність. Система одиниць. Сила тяжіння. Потенціал сили тяжіння. Поверхні рівного потенціалу. Другі похідні потенціалу прискорення сили ваги. Методи вимірювання прискорення сили ваги і других похідних потенціалу сили ваги. Необхідна точність вимірювання.

Тема 2. Нормальне гравітаційне поле і фігура Землі.

Геоїд. Залежність сили тяжіння від широти для ідеальної Землі. Теорема Клеро. Формули нормального значення сили тяжіння. Аномалії сили тяжіння. Нормальні значення та аномалії других похідних потенціалу сили тяжіння. Представлення гравітаційного поля Землі за допомогою розкладу по сферичним функціям.

Тема 3. Гравіметричні зйомки.

Види гравіметричного знімання. Методика наземної гравіметричної зйомки. Опорні і рядові гравіметричні мережі. Топографо-геодезичні роботи при виконанні гравіметричного знімання. Методика складання і точність побудови гравіметричних карт.

Тема 4. Редукції сили тяжіння.

Обчислення аномалій сили ваги. Сенс введення редукцій. Редукція у вільному повітрі. Поправка Прея. Поправка Буге. Аномалія Буге. Поправка за рельєф місцевості. Густина гірських порід.

Тема 5. Супутникові методи спостережень для визначення глобальних особливостей поля сили тяжіння і фігури Землі.

Історичні зауваження. Супутникова альтиметрія. Сучасні результати. Супутникові проекти вивчення гравітаційного поля Землі. Основні принципи вимірів. Проекти CHAMP, GRACE і GOCE.

Тема 6. Прямі та обернені задачі гравірозувідки.

Основні задачі, що вирішуються за допомогою гравірозувідки. Локальні та регіональні складові аномального гравітаційного поля. Моделі геологічних об'єктів. Пряма задача гравірозувідки. Основи метода підбору. Обернені задачі та їх властивості. Поняття про

коректні та некоректні задачі математичної фізики. Метод регуляризації.

Тема 7. Трансформації гравітаційного поля.

Основні підходи до виявлення аномалій. Класифікація трансформацій. Теоретичні основи поділу аномалій. Основні трансформації.

Тема 8. Апроксимаційний підхід В.М. Страхова розв'язку задач гравіметрії.

Становлення принципово нової теорії інтерпретації потенціальних полів. Концептуальні положення “геофізичного діалекту”. Основні ідеї методів для знаходження наближених розв'язків систем лінійних алгебраїчних рівнянь великої розмірності. Типи апіорної інформації.

Тема 9. Технологія 3D гравітаційного моделювання.

Програмний комплекс, структура моделі та загальні положення її параметри, інтерпетація отриманих результатів.

Тема 10. Сучасний комплекс інтерпретації потенціальних полів GMT-Auto.

Перелік програм, з яких складається комплекс. Принципи роботи комплексу. Приклади застосування.

Питання до заліку

1. Другі похідні гравітаційного потенціалу, їх фізичний зміст.
2. Сила тяжіння і відцентрова сила. Їх розподіл на поверхні Землі.
3. Нормальні і аномальні значення других похідних гравітаційного потенціалу.
4. Нормальне значення сили ваги.
5. Аномалії сили тяжіння.
6. Формули, які використовуються для обчислення нормальних значень сили тяжіння.
7. Опорні і рядові гравіметричні мережі. Їх особливості.
8. Класифікація гравіметричних зйомок, їх задачі.
9. Методика складання і точність побудови гравіметричних карт.
10. Густина гірських порід. Основні фактори, що її визначають.
11. Редукція Буге. Аномалія Буге.
12. Поправка за рельєф місцевості.
13. Супутникові проекти вивчення гравітаційного поля Землі.
14. Основні принципи супутникових вимірів.
15. Проекти CHAMP, GRACE і GOCE.

16. Основні задачі, що вирішуються за допомогою гравірозвідки.
17. Локальні та регіональні складові аномального гравітаційного поля. Моделі геологічних об'єктів.
18. Пряма задача гравірозвідки. Основи метода підбору.
19. Обернені задачі та їх властивості.
20. Коректні та некоректні задачі математичної фізики. Метод регуляризації.
21. Класифікація трансформацій.
22. Теоретичні основи поділу аномалій.
23. Основні трансформації.
24. Становлення принципово нової теорії інтерпретації потенціальних полів.
25. Концептуальні положення “геофізичного діалекту”.
26. Типи апіорної інформації за В.М. Страховим.
27. Інтерпретація результатів 3D гравітаційного моделювання.
28. Принципи роботи комплексу GMT-Auto.

Список рекомендованої літератури

Основна:

1. *Дзуліт П.Д.* Гравіметрія. Підручник. – Львів: ЛАГТ, 1988. – 196 с.
2. *Торге В.* Гравіметрія. – Москва: Мир, 1999. – 429 с.
3. *Блох Ю.И.* Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. [Электронный ресурс]. Версия 1.0, 2009. – 232 с.
4. *Маловичко А.К., Костицын В.И.* Гравиразведка. – М.: Недра, 1992. – 357 с.
5. *Миронов В.С.* Курс гравиразведки. Л.: Недра, 1981. – 397 с.
6. *Грушинский Н.П.* Основы гравиметрии. – М.: Наука, 1983. – 352 с.
7. *Веселов К.Е.* Гравиметрическая съемка. – М.: Недра, 1986. – 312 с.
8. *Делинджер П.* Морская гравиметрия. Пер. с англ. – М.: Недра, 1982. – 312 с.
9. *Огородова Л.В., Шимбирев Б.П., Юзефович А.П.* Гравиметрия. – М.: Недра, 1978. – 325 с.
10. *Гофман-Велленгоф Б., Мориц Г.* Физическая геодезия. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2007. – 426 с.

Додаткова:

11. *Старостенко В.И.* Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. – К.: Наук. думка, 1978. — 228 с.
12. *Страхов В.Н.* Новое в геофизике и геоинформатике. – М.: ИФЗ РАН, 2005. – 134 с.
13. *Яновская Т.Б., Порохова Л.Н.* Обратные задачи геофизики: Учеб. пособие. 2-е изд., доп. и перераб. – СПб: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. – 214 с.
14. *Баранов В.* Потенциальные поля и их трансформации в прикладной геофизике. – М.: Недра, 1980. – 151 с.
15. *Бычков С.Г.* Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 187 с.
16. *Буллен К.Е.* Плотность Земли. – М.: Мир, 1978. – 444 с.

17. *Гравиразведка: Справочник геофизика*. Под ред. Е.А. Мудрецовой, К.Е. Веселова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. — 607 с.
18. *Инструкция по гравиметрической разведке*. – М.: Недра, 1975. – 88. с.
19. Булах Е.Г. Автоматизированная система интерпретации гравитационных аномалий. – К.: Наук. думка, 1973. – 112 с.
20. Картвелишвили К.М. Планетарная плотностная модель и нормальное гравитационное поле Земли. – М.: Наука, 1982. – 94 с.
21. Красовский С.С. Гравитационное моделирование глубинных структур земной коры и изостазия. – К.: Наук. думка, 1989. – 248 с.
22. Булах Е.Г. Прямые и обратные задачи гравиметрии и магнитометрии. Математические методы геологической интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных – К.: Наук. думка, 2010. – 463 с.
23. Грушинский Н.П., Сажина Н.Б. Гравитационная разведка. – М.: Недра, 1988. – 364 с.
24. Хмелевской В.К. Краткий курс разведочной геофизики. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979 – 287 с.
25. Ince, E.S., Barthelmes, F., Reißland, S., Elger, K., Förste, C., Flechtner, F., & Schuh, H. (2019). ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services and future plans. *Earth System Science Data*, 11, pp. 647–674, DOI: <http://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>.
26. <http://icgem.gfz-potsdam.de/calcgrid?modeltype=celestial> – Calculation of Gravity Field Functionals on Ellipsoidal Grids.
27. <http://www.isgeoid.polimi.it/> – International Service for the Geoid.
28. <http://bgi.obs-mip.fr/en> – International Gravimetric Bureau.