

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. Сітаросієнко
В.І. Старостенко
(підпис)

« 11 » липня 2019 р.



УДК 550.36

Кутас Р.І.

Теплове 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:

Кутас Роман Іванович - доктор геолого-мінералогічних наук, професор, член-кор. НАНУ, завідувач відділу геотермії та сучасної геодинаміки Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

"Теплове поле Землі"

(за вимогами ECTS)

Мета: Ознайомити молодих дослідників з фундаментальними проблемами, що стосуються внутрішньої енергетики Землі, яка обумовила особливості її утворення та розвиток і контролює сучасні геотектонічні процеси, зокрема сейсмічність, вулканічну активність, утворення корисних копалин та багато інших процесів. В курсі наведено теоретичні основи та результати експериментальних досліджень, а також сформульовані окремі задачі і методичні особливості їх розв'язку.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є температурні умови та теплові потоки в надрах Землі, які разом з тиском контролюють всі геодинамічні процеси і фізико-механічні властивості їх речовини.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни є: виявити глобальні закономірності в розподілі геотермічних параметрів; оцінити роль теплової енергії в створенні локальних і регіональних неоднорідностей в будові земної кори, в формуванні корисних копалин, а також в активізації природних геодинамічних явищ, небезпечних для життєдіяльності людини (землетруси, вулкани, гідротермальні викиди тощо); оцінити можливості використання теплової енергії Землі в енергетиці і для комунальних потреб.

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

- роль теплової енергії в утворенні Землі і її сучасної будови;
- розподіл температур, теплових потоків і геотермічних градієнтів в земній корі;
- теплові параметри гірських порід;
- внутрішні джерела енергії Землі та їх параметри;
- вплив температури на фізичні параметри і хімічний склад гірських порід;
- температуру плавлення гірських порід;
- особливості впливу теплової енергії на геодинамічні процеси в надрах Землі;
- природу геотермічних аномалій в різних геотектонічних умовах;
- методи інтерпретації геотермічних аномалій.

вміти:

- вимірювати геотермічні параметри; визначати густину теплового потоку;
- формулювати рівняння теплопровідності і граничні та початкові умови;
- розв'язувати рівняння теплопровідності аналітичними та числовими методами;
- побудувати стаціонарну або нестаціонарну геотермічну модель земної кори;
- розрахувати температури в земній корі;
- визначити вплив поверхневих умов на розподіл температур в земній корі;
- використовувати комп'ютерні технології для аналізу та геологічної інтерпретації геотермічних даних;
- оцінювати геотермальні ресурси, кількість теплової енергії, яку можна добути із надр Землі і використати при сучасному рівні розвитку техніки і відповідних технологій.

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

(II курс – 1)

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

Змістовий модуль 1

Загальна характеристика теплового поля. Експериментальні дані і математичні моделі.

1	2	3	4	5	6	7
1.1.	Тема 1. Теплове поле Землі, його основні параметри.	2	2	1	3	11
1.2.	Тема 2. Теплофізичні параметри гірських порід і методи їх вивчення.	2	1	1	3	7
1.3.	Тема 3. Внутрішні джерела тепла.	2	1	1	2	6
1.4.	Тема 4. Термічна історія Землі.	2	1	2	2	7
1.5.	Тема 5. Стаціонарні задача теплопровідності.	3	1	1	2	7
1.6.	Тема 6. Геотермічні процеси в земній корі і нестационарна задача теплопровідності.	3	1	1	2	10
1.7.	Тема 7. Геотермічні умови і геодинамічні процеси.	2	1	1	2	9
1.8.	Тема 8. Моделювання теплових процесів.	2	1	1	2	9
1.9.	Тема 9. Використання геотермальної енергії.	2	1	1	2	9
Разом		20	10	10	20	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.

Загальна характеристика теплового поля. Експериментальні дані і математичні моделі.

Тема 1. Теплове поле Землі, його основні параметри.

Температура на поверхні і в приповерхневому шарі Землі за результатами геотермічних вимірювань. Вимірювання температур в свердловинах; геотермічний градієнт і визначення густини теплового потоку; особливості розподілу температур і теплових

потоків на континентах і в океанах; розподіл температур в земній корі.

Тема 2. Теплофізичні параметри гірських порід і методи їх вивчення.

Теплопровідність, температуропровідність, теплоємність гірських порід; кондуктивна, конвективна, радіаційна теплопровідність; вплив мінералогічного складу і структури порід на їх теплофізичні параметри; вплив тиску і температури на теплофізичні параметри. Сумарна теплопровідність у верхній мантиї; стаціонарні і нестаціонарні методи вимірювання теплопровідності.

Тема 3. Внутрішні джерела тепла.

Генерація тепла довгоживучими і короткоживучими радіоактивними елементами; гравітаційна енергія і початкова температура Землі; пружна енергія.

Тема 4. Термічна історія Землі.

Гіпотези «холодного» і «гарячого» походження Землі. Методи розрахунку термічної еволюції Землі і розподілу температур в її надрах; адіабетична температура в верхній мантиї; температура плавлення. Методи оцінки температури в надрах Землі.

Тема 5. Стаціонарні задача теплопровідності.

Стаціонарна задача теплопровідності. Закон Фур'є; розв'язок одновимірної і двовимірної задач теплопровідності; розрахунки температур в земній корі; корола і мантийна складові теплового потоку; вплив глибинної будови земної кори на розподіл температур і теплових потоків в земній корі.

Тема 6. Геотермічні процеси в земній корі і нестаціонарна задача теплопровідності.

Геотермічні процеси в земній корі і нестаціонарна задача теплопровідності. Розв'язок задачі для півпростору з періодичною зміною коротко- і довгоперіодних коливань температури на поверхні Землі; геотермічні умови і зміни клімату, вплив осадконакопичення і ерозії; охолодження океанічної літосфери; топографія океанічного дна; теплове поле і магматизм.

Тема 7. Геотермічні умови і геодинамічні процеси.

Геотермічні умови і геодинамічні процеси. Температурні напруження, геотермічні умови і сейсмічність; температурні умови літосферної плити в зонах субдукції і колізії; тепловий режим при формуванні осадових басейнів; вплив на теплове поле гідротермальних потоків, теплові процеси на границях плит і охолодження інтрузій.

Тема 8. Моделювання теплових процесів.

Теоретичні засади побудови геотермічних моделей. Моделі стаціонарного і нестаціонарного режиму земної кори; фоновий рівень і аномалії теплового поля; побудова моделей геологічного середовища, методи оцінки радіогенної теплогенерації і теплофізичних параметрів земної кори; пряма і обернена задачі теплопровідності; аналітичні і числові технології розв'язку задачі теплопровідності; розрахунки стаціонарних і нестаціонарних температур; методи мінімізації; побудова одновимірних і об'ємних моделей розподілу температур.

Тема 9. Використання геотермальної енергії.

Розподіл температури в надрах Землі. Методи оцінки температур в надрах Землі; адіабетична температура; використання геотермальної енергії.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ БІЛЕТИ

Екзаменаційний білет № 1

1. Температура поверхні і в приповерхневому шарі Землі. Геотермічний градієнт і густина теплового потоку.
2. Задача охолодження і кристалізації магматичних об'єктів (задача Стефана).
3. Теплопровідність гірських порід: кондуктивна, конвективна, радіаційна.

Екзаменаційний білет № 2

1. Гіпотези «холодного» і «гарячого» походження Землі.
2. Формування геотермічних умов океанічної літосфери.
3. Теплоємність гірських порід.

Екзаменаційний білет № 3

1. Методи оцінки температури в надрах Землі.
2. Задача охолодження і кристалізації вертикальної дайки.
3. Вплив мінералогічного складу на теплопровідність порід.

Екзаменаційний білет № 4

1. Задача теплової історії Землі.
2. Температурні напруження в масиві гірських порід.
3. Визначення густини теплового потоку в свердловинах.

Екзаменаційний білет № 5

1. Особливості розподілу теплових потоків на континентах і в океанах.
2. Задача охолодження і кристалізації пластової інтрузії.
3. Вплив тиску і температури на теплопровідність гірських порід.

Екзаменаційний білет № 6

1. Внутрішні джерела тепла Землі.
2. Задача розподілу температур з періодичною зміною коливань температури на поверхні.
3. Нестационарні методи вимірювання теплопровідності гірських порід.

Екзаменаційний білет № 7

1. Гравітаційна енергія і початкова температура Землі.
2. Вплив змін палеоклімату на розподіл температур і теплових потоків в земній корі.
3. Стационарні методи вимірювання теплопровідності гірських порід.

Екзаменаційний білет № 8

1. Методи вимірювання температури в свердловинах.
2. Задача теплового стану при миттєвому нагріванні або охолодженні поверхні.
3. Геолого-тектонічна природа залежності густини теплового потоку від віку структур земної кори.

Екзаменаційний білет № 9

1. Сучасний геотермічний режим Землі за експериментальними даними.
2. Одномірна стационарна задача теплопровідності з об'ємним тепловиділенням і постійною температурою поверхні.
3. Радіоактивність і генерація радіогенного тепла гірських порід.

Екзаменаційний білет № 10

1. Нестационарні аномалії теплового потоку.
2. Адіабатична температура в надрах Землі.

3. Методи вимірювання теплового потоку в морських басейнах.

Екзаменаційний білет № 11

1. Геотермічне районування континентів.
2. Нестационарна задача теплопровідності для сферичної Землі.
3. Використання геотермальної енергії в народному господарстві.

Екзаменаційний білет № 12

1. Енергетичний баланс Землі.
2. Вплив температури на пружні параметри гірських порід.
3. Особливості вимірювань температур в свердловинах. Оцінка температур в свердловинах з нестационарним тепловим режимом.

Екзаменаційний білет № 13

1. Теоретичні засади побудови геотермічних моделей земної кори.
2. Термічні явища в свердловинах.
3. Тепло, що утворюється при тектонічних деформаціях (стискання, розтягання, тертя).

Екзаменаційний білет № 14

1. Модель інтрузії при побудові нестационарних моделей земної кори і інтерпретації геотермічних аномалій.
2. Фоновий рівень теплових потоків. Геотермічні аномалії.
3. Вплив динаміки підземних вод на розподіл температур і теплових потоків в земній корі.

Екзаменаційний білет № 15

1. Вплив інтрузивних тіл на розподіл температури в земній корі.
2. Глобальні тепловтрати Землі через кондуктивну теплопровідність.
3. Тепловий режим земної кори і ступінь метаморфізму осадових порід.

Екзаменаційний білет № 16

1. Перенесення тепла в масиви гірських порід. Закон Фур'є.
2. Моделювання геотермічних умов земної кори. Побудова моделі структури земної кори і оцінка теплофізичних параметрів.
3. Використання геотермічної енергії підземних вод і природної пари.

Екзаменаційний білет № 17

1. Побудова профільних стаціонарних геотермічних моделей земної кори шаруватої будови.
2. Стабілізація теплового режиму в свердловинах після закінчення буріння.
3. Використання теплової енергії, накопиченої в твердих породах. Циркуляційні системи.

Екзаменаційний білет № 18

1. Побудова профільної стаціонарної геотермічної моделі земної кори блокової структури.
2. Визначення товщини літосфери за геотермічними даними.
3. Розрахунок геотермічного градієнту в шаруватому геологічному середовищі.

Екзаменаційний білет № 19

1. Вибір початкових і граничних умов при побудові нестационарних геотермічних моделей земної кори.
2. Залежність густини теплового потоку від товщини і структури земної кори.

3. Особливості використання геотермальної енергії в блоках земної кори з низькотемпературними теплоносіями. Теплові насоси.

Екзаменаційний білет № 20

1. Модель миттєвого джерела енергії в задачах моделювання теплових умов земної кори та інтерпретації аномалій теплового потоку.
2. Регіональні закономірності в розподілі теплових потоків на території України.
3. Теплова структура літосферного блоку, що занурюється в процесі субдукції.

Екзаменаційний білет № 21

1. Теплова конвекція в мантії Землі.
2. Вплив рельєфу на розподіл температур і теплових потоків в земній корі.
3. Вплив горизонтальних переміщень на розподіл температур в земній корі. Геотермічні умови насувних структур,

Екзаменаційний білет № 22

1. Механізми перенесення теплової енергії в надрах Землі.
2. Тепловий режим і метаморфізм в земній корі.
3. Корови і мантійна складові радіогенного теплового потоку.

Екзаменаційний білет № 23

1. Теплова модель спредінгу океанічної літосфери.
2. Оцінка розподілу температур в мантії Землі за даними про її електропровідність.
3. Методика і техніка вимірювання температур в приповерхневому шарі земної кори на континентах.

Екзаменаційний білет № 24

1. Енергія гравітаційної диференціації Землі.
2. Побудова температурних розрізів земної кори і верхньої мантії.
3. Теплові процеси в свердловинах.

Екзаменаційний білет № 25

1. Охолодження сферичної Землі.
2. Оцінка радіогенної теплогенерації в земній корі за фізичними параметрами гірських порід (швидкостями сейсмічних хвиль і густини).
3. Оцінка видобувної геотермальної енергії за результатами геотермічних досліджень.

Список рекомендованої літератури

Основна

1. *Джеффрис Т.* Земля, ее происхождение, история и развитие. М.: ИЛ, 1960.
2. *Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Т., Кирдяшкин А.А.* Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд. СОРАН, 2001. 409 с.
3. *Жарков В.Н.* Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 415 с.
4. *Кутас Р.И.* Поле тепловых потоков и геотермическая модель земной коры. Киев: Наук. думка, 1978. 140 с.
5. *Кутас Р.И., Гордиенко В.В.* Тепловое поле Украины. Киев: Наук. думка, 1971. 140 с.

6. Кутас Р.И., Цвященко В.А., Корчагин И.Н. Моделирование теплового поля континентальной литосферы. Киев: Наук. думка, 1989. 192 с.
7. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965. 380 с.
8. Смыслов А.А., Моисеенко У.И., Чадович Т.З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. Ленинград: Недра, 1979. 192 с.
9. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли: Учебник под ред. акад. В.А.Садовского. М.: Изд. МГУ, 2002. 560 с.
10. Текрот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Т. 1. М.: Мир, 1985. 374 с.
11. *Geothermal Atlas of Europe*. Ed. by E. Hurtig (Editor-in-Chief), V.Cermak, R.Haenel, V.Zui. Hermann Naak Verlagsgesellschaft mbH Gotha, Germany, 1992. 156 p.

Додаткова

1. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. М.: Научный мир, 2007. 456 с.
2. Голубев В.А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Академ. изд. Гео, 2007. 223 с.
3. Демежко Д.Ю. Геотермический метод реконструкции палеоклимата (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 143 с.
4. Методические и экспериментальные основы геотермии. М.: Наука, 1983. 232 с.
5. Поляк Б.Г. Тепломассопоток из мантии в главных структурах земной коры. М.: Наука, 1988. 192 с.