

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОФІЗИКИ ім. С.І. СУББОТІНА**

СХВАЛЕНО

Вченою радою Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України
«20» грудня_2021 р.
Протокол № 15

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України
Віталій СТАРОСТЕНКО
«20» грудня_2021 р.



Голова вченої ради

Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України

академік НАН України

В. Аїтаросієнко

Віталій СТАРОСТЕНКО

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 2021

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 № 15 від «20» грудня_2021 р.)

РОЗРОБНИК 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)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо – кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни, денна форма навчання
Кількість кредитів - 2	Галузь знань <u>10-Природничі науки</u>	Нормативна
Загальна кількість годин для денної форми навчання – 60	Спеціальність 103-Науки про Землю	Рік підготовки
		2
		Семестр
		3
		Лекцій 20 годин
	Освітньо-кваліфікаційний рівень: Доктор філософії	Практичні заняття 10 годин
		Семінари 10 годин
		Самостійна робота 20 годин
		Вид контролю: іспит

Мета: Ознайомити молодих дослідників з фундаментальними проблемами, що стосуються теплового стану та 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, гіпотези гарячого та холодного походження Землі, 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.

Відповідно до вимог Національної рамки кваліфікацій дев'ятого рівня освіти дисципліна забезпечує набуття аспірантами таких **компетентностей**.

Інтегральна компетентність (ІК)

ІК. Здатність визначати та розв'язувати комплексні науково-прикладні геолого-геофізичні задачі (проблеми) з генеруванням нових знань та / або інноваційних прикладних рішень, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань, оволодіння методологією наукової та науково-педагогічної діяльності, проведення самостійного наукового дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК01. Комунікативні навички. Компетентність у використанні іноземної мови. Здатність до ефективної комунікації та до представлення складної комплексної інформації у стислій формі усно та письмово, використовуючи інформаційно-комунікаційні технології та відповідні технічні терміни. Здатність розуміння іншомовних професійних текстів, використання англійської мови для спілкування в міжнародному загальному, науковому і професійному середовищі.

ЗК02. Дослідницька здатність. Компетентність у проведенні наукових досліджень на рівні доктора філософії, прийнятті обґрунтованих рішень, розв'язанні проблем та вирішенні науково – прикладних завдань. Здатність планувати зміст та управляти часом підготовки дисертаційного дослідження.

ЗК03. Здатність до пошуку та аналізу інформації з різних джерел. Здатність до використання сучасних інформаційних та комунікаційних технологій, комп'ютерних засобів та програм. Здатність працювати з сучасними бібліографічними і реферативними базами даних, а також наукометричними платформами.

ЗК04. Аналіз та синтез. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу на основі логічних аргументів та перевірених фактів, формування системного наукового світогляду та загального культурного кругозору.

ЗК05. Групова робота. Здатність виконувати дослідження в групі під керівництвом лідера, мати навички, що демонструють здатність до врахування строгих вимог дисципліни, планування та управління часом. Здатність передавати і поширювати наукові знання.

ЗК06. Гнучкість мислення. Здатність шукати власні шляхи вирішення проблеми, критично сприймати і аналізувати чужі думки та ідеї, рецензувати публікації й автореферати, проводити критичний аналіз власних матеріалів.

ЗК09. Етичні установки. Дотримання етичних принципів з точки зору професійної чесності та порядності. Здатність працювати самостійно, бути критичним і самокритичним.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК)

ФК01. Глибокі знання та розуміння. Здатність на основі теорії, методології, експерименту та його інтерпретації аналізувати проблеми фізики Землі, її будову та процеси, з точки зору фундаментальних загальнонаукових принципів і знань, а також на основі комплексних спеціальних геолого-геофізичних досліджень (сейсмічних, гравіметричних, магнітометричних та електрометричних та інших) з метою прогнозу пошуків родовищ корисних копалин. Компетентність у володінні теоретичними і методологічними основами, міжнародними стандартами та інструментальними засобами у сфері геофізичних методів, планування і управління інноваційними проектами.

ФК02. Розв'язання проблем. Здатність розв'язувати широке коло проблем та задач шляхом розуміння їх фундаментальних основ та використання як теоретичних, так і експериментальних методів, засвоєних за допомогою освітньо-наукової програми.

ФК03. Обчислювальні навички. Здатність використовувати відповідне програмне забезпечення (мови програмування, автоматизовані пакети програм тощо) та великі масиви статистичної інформації для здійснення досліджень та моделювання геолого-геофізичної будови надр Землі.

ФК04. Здатність до навчання. Здатність шляхом самостійного навчання освоїти нові області, використовуючи здобуті фахові знання. Компетентність у технології підготовки наукових публікацій, дисертацій та доповідей у сфері Наук про Землю.

Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми та методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Знати:			
1.1.	про теплове поле Землі, його основні параметри, температуру на поверхні і в приповерхневому шарі Землі за результатами геотермічних вимірювань, особливості розподілу температур і теплових потоків на континентах і в океанах; розподіл температур в земній корі.	Лекції, семінари, самостійна робота	Індивідуальне опитування	10%
1.2.	про 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 мантії;	Лекції, семінари, самостійна робота	Індивідуальне опитування	5%
1.3.	про внутрішні джерела тепла. Генерація тепла довгоживучими і короткоживучими радіоактивними елементами; гравітаційна енергія і початкова температура Землі; пружна енергія.	Лекції, семінари, самостійна робота	Індивідуальне опитування	5%
1.4.	термічну історію Землі.	Лекції,	Індивідуальне	10%

	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.	семінари, самостійна робота	опитування	
1.5	стаціонарні задачі теплопровідності. Закон Фур'є; розв'язок одномірної і двомірної задач теплопровідності; розрахунки температур в земній корі; коро́ва і мантийна складові теплового потоку; вплив глибинної будови земної кори на розподіл температур і теплових потоків в земній корі.	Лекції, самостійна робота	Індивідуальне опитування	5%
1.6	геотермічні процеси в земній корі і нестаціонарна задача теплопровідності; геотермічні умови і зміни клімату, вплив осадконакопичення і ерозії; охолодження океанічної літосфери; топографія океанічного дна; теплове поле і магматизм.	Лекції, семінари, самостійна робота	Індивідуальне опитування	10%
1.7	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	Лекції, семінари, самостійна робота	Індивідуальне опитування	5%

	плит і охолодження інтрузій.			
1.8	про 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;. Використання геотермальної енергії. Розподіл температури в надрах Землі. Методи оцінки температур в надрах Землі; адіабатична температура; використання геотермальної енергії.	Лекції, семінари, самостійна робота	Індивідуальне опитування	5%
	Вміти:			
2.1	проводити експериментальні спостереження та вимірювання температур в свердловинах; розрахунок геотермічного градієнту і визначення густини теплового потоку; володіти методикою проведення польових робіт.	Практичні заняття, самостійна робота	Індивідуальне опитування	5%
2.2	проводити стаціонарні і нестаціонарні методи вимірювання теплопровідності. використовувати методи розрахунку термічної еволюції Землі і розподілу температур в її надрах;	Практичні заняття, семінари, самостійна робота	Індивідуальне опитування	10%

	адіабетична температура в верхній мантиї; температура плавлення. Методи оцінки температури в надрах Землі.			
2.3	розраховувати розв'язок одномірної і двомірної задач теплопровідності; розрахунки температур в земній корі; коро́ва і мантийна складові теплового потоку. Розв'язок задачі для півпростору з періодичною зміною коротко- і довгоперіодних коливань температури на поверхні Землі;	Практичні заняття, семінари, самостійна робота	Індивідуальне опитування	10%
2.4	розв'язати пряму і обернену 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	Практичні заняття, самостійна робота	Індивідуальне опитування	10%
	Комунікація:			
3.	представляти результати наукового пошуку у формі усної доповіді/стендової презентації з використанням сучасних технологій, коректно та змістовно вести дискусію	Практичні заняття	Оцінювання практичних завдань/усних доповідей/презентацій	5%
	Автономність та відповідальність:			
4.	виявляти лідерські якості. Здатність працювати самостійно, бути критичним і самокритичним. Дотримання етичних	самостійна робота	Оцінювання усних доповідей/презентацій	5%

	принципів з точки зору професійної чесності та порядності..			
--	---	--	--	--

Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання:

Результати навчання дисципліни (код) Програмні результати навчання (назва)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4	3	4
ПРН01. Знання та розуміння основних понять і термінів, фізико-математичних основ усіх базових геофізичних методів, загальних принципів будови апаратури та методики проведення польових робіт, підходів до розв'язку прямих та зворотних задач геофізики	■	■	■	■										
ПРН02. Знання теорій і методології, розуміння практичного застосування польового та / або лабораторного експерименту, його обробки та різного рівня геолого-геофізичної інтерпретації (від якісної до обчислення та побудови складних теоретичних та реальних моделей геологічного середовища) для широкого класу методів наукових геолого-геофізичних досліджень та вміння їх використовувати на належному рівні.	■	■	■							■	■			
ПРН04. Знання для визначення і вирішення проблемних питань і прийняття обґрунтованих														

рішень в науках про Землю, в тому числі, в питаннях геофізичних досліджень, геологічної інтерпретації даних геофізичних досліджень та моделювання геологічних об'єктів за геофізичними даними.		■				■					■			
ПРН05. Знання сучасних методів дослідження Землі та її геосфер і розуміння їх застосування у виробничій та науково-дослідницькій діяльності дозволяє використовувати геофізичні дослідження для вивчення верхньої частини земної кори та її осадового шару.					■		■	■						
ПРН06. Розуміння ідентифікувати та класифікувати відомі і реєструвати нові об'єкти в складі геосфер, їхні властивості, явища та процеси, їм притаманні.						■	■	■						
ПРН08. Знання та розуміння методів управління безпекою за нормальних умов роботи і під час виникнення надзвичайних ситуацій. Розуміння особистої відповідальності за професійні рішення, які можуть давати інформацію про геологічне середовище							■							■
ПРН09. Знання та розуміння методів розробки і впровадження прикладних розробок.											■		■	
ПРН10. Вміння та навички проводити критичний аналіз різних інформаційних джерел конкретних освітніх, наукових та професійних текстів у сфері обраної спеціальності, виявляти теоретичні та практичні проблеми, а також дискусійні питання у													■	■

сфері конкретних освітніх, наукових та професійних текстів у галузі Наук про Землю, виявляти, ставити та вирішувати наукові задачі й проблеми.														
ПРН11. Вміти з нових дослідницьких позицій формулювати загальну методологічну базу власного наукового дослідження, усвідомлювати його актуальність, мету і значення для розвитку інших галузей науки, суспільно-політичного, економічного життя.								■	■	■	■			
ПРН12. Вміння та навички відслідковувати найновіші досягнення у професійній сфері й знаходити наукові джерела, які мають відношення до сфери наукових інтересів здобувача, працювати з різними джерелами, розшукувати, обробляти, аналізувати та синтезувати отриману інформацію (наукові статті, науково-аналітичні матеріали, бази даних тощо).												■	■	
ПРН13. Вміння та навички визначати актуальні напрями досліджень, виконувати незалежні оригінальні самостійні геофізичні дослідження природних об'єктів і процесів у геосферах в польових і лабораторних умовах, отримувати наукові достовірні та обґрунтовані результати у сфері Наук про Землю.								■	■	■	■	■		
ПРН14. Вміння та навички працювати з геофізичними приладами, організувати бригадну геофізичну зйомку для ефективного вирішення								■						■

поставленої задачі														
ПРН15. Вміння та навички організовувати творчу діяльність і процес проведення наукових досліджень, використовувати сучасні інформаційні й комунікаційні технології, комп'ютерні засоби та програми при проведенні наукових досліджень, оцінювати й забезпечувати якість виконуваних робіт									■	■	■	■		
ПРН21. Вміння та навички критично сприймати й аналізувати чужі думки та ідеї, шукати власні шляхи вирішення проблеми, проводити критичний аналіз власних матеріалів, генерувати власні нові ідеї, приймати обґрунтовані рішення													■	■
ПРН22. Вміння та навички розробляти і реалізовувати проекти й програми у сфері Наук про Землю.													■	■

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.

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 – 3 семестр)

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

Змістовий модуль
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	8
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	7
1.7.	Тема 7. Геотермічні умови і геодинамічні процеси.	2	1	1	2	6
1.8.	Тема 8. Моделювання теплових процесів.	2	1	1	2	6
1.9.	Тема 9. Використання геотермальної енергії.	2	1	1	2	6
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

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 мантії; 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 мантії; 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; кора і мантійна 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; адіабатична 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. Нестаціонарні 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. Стаціонарні 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 стаціонарна 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 мантиї 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. Корова і мантийна складові радіогенного теплового потоку.

Екзаменаційний білет № 23

1. Теплова модель спредінгу океанічної літосфери.
2. Оцінка розподілу температур в мантиї 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 мантиї.
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.

Система оцінювання: Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

Рейтингова шкала	90 – 100	75-89	60-74	0-59
Інституційна шкала	відмінно	добре	задовільно	незадовільно

Список рекомендованої літератури

Основна

1. *Кутас Р.І.* Поле теплових потоків і геотермічна модель земної кори. Київ: Наук. думка, 1978. 140 с.
2. *Кутас Р.І., Гордиенко В.В.* Теплове поле України. Київ: Наук. думка, 1971. 140 с.
3. *Кутас Р.І., Цвященко В.О., Корчагін І.М.* Моделювання теплового поля континентальної літосфери. Київ: Наук. думка, 1989. 192 с.
4. *Магницкий В.А.* Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 2006. 390 с.
5. *Любимова Е.А.* Термика Земли и Луны. М.: Наука. 1966.
6. *Turcotte D.L., Schobert G.* Geodynamics. Applications of Continuum physics to Geological Problems. New York, 1982. P. 450.
7. *Eppelbaum E., Kutasov I., Pilchin A.* Applied Geothermic. Springer Verlag. Berlin- Heidelberg, 2014. Doi: 101007/978-3-642-34023-9.
8. *Hesterok D.P.* Thermal state of continental and oceanic lithosphere. Utah, 2010. 156 p.
9. *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.
10. *Кутас Р.І.* Глибинна дегазація і нафтогазоносність Східних (Українських) Карпат: геодинамічний і геотермічний аспекти. *Геофізичний журнал*, 43(6), 2021. С. 23–41. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251551>
11. Сучасна геодинаміка та геофізичні поля Карпат і суміжних територій: монографія / К.Р. Третьак, В.Ю. Максимчук, Р.І. Кутас, Р.І. Кутас, І.І. Рокитнянський, О.М. Гнилко, О.В. Кендзера, Р.С. Пронишин, Т.А. Климкович, В.Г. Кузнєцова, Д.О. Марченко, О.М. Смірнова, О.В. Серант, В.І. Бабак, А.І. Вовк, В.В. Романюк, А.В. Терешин; за заг. ред. К.Р. Третьака, В.Ю. Максимчука, Р.І. Кутаса — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 420 с.

Додаткова

1. *Kutas, R. I., Kobolev, V. P., & Tsvyashchenko, V.A.* (1998). Heat flow and geothermal modl of the Black sea depression. *Tectonophysics* 291, 91-100.
2. *Кутас Р.І.* Геотермічні умови басейну Чорного моря та його обрамлення. *Геофизический журнал*. 2010. Т. 32, № 6. С. 135-158. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v32i6.2010.117453>
3. *Кутас Р.І.* Геотектонічні та геотермічні умови зон флюїдної і газової розгрузки в Чорному морі. *Геофізичний журнал* № 5, Т. 42, 2020 С. 16-52. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215070>
4. *Галушкин Ю.И.* Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. М.: Научный мир, 2007. 456 с.
5. *Голубев В.А.* Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Академ. изд. Гео, 2007. 223 с.
6. *Terrestrial heat flow and the lithosphere structure.* Ed. by V. Cermak and L. Rybach. Springer Verlag. Berlin-Heidelberg, New York, London, 1991. 504 p.
7. *Методические и экспериментальные основы геотермии.* М.: Наука, 1983. 232 с.
8. *Поляк Б.Г.* Тепломассопоток из мантии в главных структурах земной коры. М.: Наука, 1988. 192 с.