

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

**ВІРШИЛО ІВАН ВІКТОРОВИЧ**

**УДК 552.078 + 553.08**

**Автоматизована система розв'язку задач інверсії даних сейсмоакустики для  
багатокомпонентного анізотропного геологічного середовища**

**Спеціальність – 04.00.22 – Геофізика**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата геологічних наук**

**Київ – 2004**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка.

**Науковий керівник:**

доктор фізико-математичних наук,  
професор *Продайвода Георгій Трохимович*  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
професор кафедри геофізики

**Офіційні опоненти:**

доктор геолого-мінералогічних наук, професор  
*Трипільський Олександр Андрійович*,  
Інститут геофізики ім. С.І.Суботіна НАН України, м.Київ,  
старший науковий співробітник.

доктор геолого-мінералогічних наук  
*Орищенко Іван Васильович*,  
Інститут геологічних наук НАН України, м.Київ,  
провідний науковий співробітник.

**Провідна організація:**

Український Державний Геологорозвідувальний Інститут, м. Київ

Захист відбудеться 27 серпня 2004 р. о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д026.001.32 Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 03022, Київ-22, вул. Васильківська, 90, геологічний факультет, ауд. 324.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01033, вул. Володимирська, 58.

Автореферат розісланий “\_\_” липня 2004 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д026.001.32  
кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент

А.В. Сухорада

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### Актуальність теми дослідження

Сучасний рівень ефективності інтерпретаційних технологій геофізичної інформації визначається, насамперед, рівнем досконалості і впровадження у виробництво новітніх комп'ютерних технологій, які забезпечують комплексну обробку, візуалізацію та аналіз великих об'ємів геолого-геофізичних даних. Більшість існуючих комп'ютерних технологій обробки геофізичної інформації ґрунтуються на фізико-геологічних та фізико-математичних моделях і зводяться до розв'язку обернених геофізичних задач і визначення параметрів цих моделей. Поняття фізико-геологічної моделі розглядається як система абстрактних збурюючих тіл і створюваних ними аномальних ефектів, які апроксимують геологічний об'єкт і відображають його структуру, розміри, форму, петрофізичні властивості і відповідний їм розподіл фізичних полів.

В результаті інтерпретації результатів глибинних геофізичних досліджень земної кори традиційними методами побудовані комплексні геолого-геофізичні моделі. Проте, існуюча дистанція між реальними геологічними розрізами і геофізичними моделями, спрощений перехід від геофізичних моделей до речовинного складу, багатоваріантність моделей середовища сприяють недовірі геологів до формальних математичних розв'язків.

В зв'язку з цим проблема підвищення ефективності геологічної інтерпретації геофізичної інформації і побудова максимально наближених до реального геологічного середовища структурно-речовинних моделей є однією із актуальних проблем сучасної геофізики.

### Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація нерозривно пов'язана з виконанням планів науково-дослідної теми "Розробка нових геофізичних технологій пошуків родовищ корисних копалин, геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища" (номер держреєстрації 0101U002769) в рамках програми "Надра" Фонду фундаментальних досліджень Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Впровадження та практична реалізація виконаних автором розробок здійснювалась у межах госпдоговірних робіт з КП "Кіровогеологія", ДГП "Північгеологія".

**Метою роботи** є розробка програмно-алгоритмічних засобів математичного моделювання і чисельного розв'язку задач інверсії даних сейсмоакустики і створення на цій основі сучасної автоматизованої системи кількісної оцінки мінералогічного складу та параметрів тріщинуватості об'єктів досліджень.

*Основні завдання досліджень.* Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз розвитку і сучасного стану застосування новітніх комп'ютерних технологій для вирішення задач геологічної інтерпретації сейсмоакустичних даних. Сформулювати основні методологічні принципи їх розробки.
2. Розробити алгоритм і програму математичного моделювання ефективних термопружних і акустичних властивостей анізотропного багатокомпонентного тріщинуватого геологічного середовища.
3. Розробити ітераційний алгоритм і програму чисельного розв'язку задачі інверсії даних сейсмоакустики.
4. Розробити і обґрунтувати методику використання створеного програмного комплексу.
5. Провести виробничі випробування комп'ютерної технології геологічної інтерпретації сейсмоакустичних даних.

**Основний принцип** створеної автоматизованої системи інтерпретації полягає в наступному: на основі даних геофізичних спостережень та апіорної моделі геологічного середовища в

автоматизованому режимі виконується побудова такої чисельної моделі, що не суперечить всім спостереженим даним та обмеженням. Цей принцип реалізовано шляхом вирішення задачі інверсії методом найменших квадратів. Для цього будується ітераційний процес оптимізації апріорної моделі об'єкту досліджень. Розрахункова методика включає в себе методи глобальної та локальної оптимізації. Для інтерактивного втручання інтерпретатора реалізовано засоби візуалізації та інструменти роботи з параметрами моделі в базі даних геолого-геофізичної інформації.

**Об'єктом наукового дослідження** є ефективні термопружні і акустичні параметри, мінералогічний склад і тріщинуватість багатокомпонентного геологічного середовища.

**Предметом наукового дослідження** є теоретичні та методичні засади комп'ютерної технології математичного моделювання і розв'язку задач сейсмоакустики.

**Методи досліджень**, які були використані при вирішенні задач:

Методи механіки стохастичного середовища, зокрема метод умовних моментів. Ітераційні методи глобальної оптимізації в застосуванні до нелінійного методу найменших квадратів. Методи локальної оптимізації. Методи об'єктно-орієнтованої алгоритмізації ієрархічних структур.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Вперше застосовано новий методологічний підхід до інтерпретації сейсмоакустичних даних на основі багатокомпонентної моделі геологічного середовища. Розроблено ітераційний алгоритм інверсії даних геофізичних спостережень в структурно-речовинні параметри геологічного середовища. Створена автоматизована система вирішення оберненої задачі сейсмоакустики для багатокомпонентного анізотропного геологічного середовища. Розроблено методику геологічної інтерпретації сейсмоакустичних даних та визначено раціональний комплекс спостережень, що здатний забезпечити однозначність рішення поставленої задачі.

### **Основні положення, що відображають наукову новизну результатів**

1. Вперше сформульовано і реалізовано методологічні принципи побудови комп'ютерної технології геологічної інтерпретації геофізичних даних, яка ґрунтується на єдиній моделі багатокомпонентного анізотропного тріщинуватого геологічного середовища, природним атрибутом якого є напружено-деформований стан та термопружний стан.
2. Створено базу даних геолого-геофізичної інформації, яку інтегровано в програмний комплекс.
3. Вперше розроблений і реалізований алгоритм математичного моделювання ефективних термопружних властивостей багатокомпонентного анізотропного тріщинуватого геологічного середовища.
4. Розроблений і реалізований ітераційний алгоритм, який забезпечує стійке вирішення задачі інверсії даних сейсмоакустики.
5. Вперше розроблено комп'ютерну технологію визначення мінералогічного складу і тріщинуватості за даними сейсмоакустичних досліджень.
6. Вперше проведено кількісну оцінку мінералогічного складу і тріщинуватості земної кори Кіровоградського блоку Українського щита за даними ультразвукових спостережень на зразках керну глибоких свердловин, акустичного каротажу, вертикального сейсмічного профілювання і глибинного сейсмічного зондування.
7. Вперше визначені пружні постійні і функції розподілу орієнтації породоутворюючих мінералів океанічної верхньої мантії за даними азимутальної сейсмічної анізотропії.

### **Практичне використання отриманих результатів.**

Створений програмний комплекс використовується для чисельного моделювання результатів сейморозвідки, акустичного каротажу, вертикального сейсмічного профілювання та ультразвукових досліджень на зразках гірських порід. Розроблена автоматизована система геологічної інтерпретації даних сейсмоакустики використовується автором і співробітниками

кафедри геофізики при читанні курсів "Математичне моделювання геофізичних параметрів", "Сейсмоакустика". Результати геологічної інтерпретації сейсмоакустичних даних Кіровоградського блоку Українського щита використовуються на виробництві при пошуках і розвідці корисних копалин в КП "Кіровгеологія".

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні та методичні результати отримані здобувачем особисто. У роботах, виконаних в співавторстві [1,3-10,12,13], дисертанту належить безпосередня участь в постановці задачі, розробка алгоритмів і програм, обробка та аналіз результатів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідались автором на наступних конференціях: міжнародних конференціях "Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища" (Київ, 2000,2001,2002); міжнародній конференції "Ill-posed and inverse problem" (Новосибірськ, Росія, 2002); XIII політематичній сесії Російського Акустичного Товариства (Москва, Росія, 2003); міжнародній конференції "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища" (Київ, 2003); міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених "Геофізика-2003" (Санкт-Петербург, Росія, 2003); міжнародній геофізичній конференції "Геофізика XXI століття. Взгляд в будущее" (Москва, 2003); міжнародній конференції „Problems of Geocosmos” (Санкт-Петербург, Росія, 2004); конференціях професорсько-викладацького складу геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, 2000, 2001, 2002).

**Публікації.** Основні результати роботи опубліковано в 3 статтях у фахових журналах (1 – особиста, 2 у співавторстві), 2 статтях в наукових збірках та 8 тезах доповідей на наукових конференціях.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 6 розділів, висновків та списку використаної літератури, а також одного додатку.

Робота виконана на кафедрі геофізики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, де здобувачем отримані основні результати теоретичних досліджень, розроблений математичний апарат інверсії даних, який впроваджено при вирішенні геологічних задач.

Робота проводилась в тісній співпраці з колективом лабораторії сейсмоакустики кафедри геофізики, що очолювана проф. Продайводою Г.Т. Автор висловлює щире подяку м.н.с. Козіоновій О.О., студ. Продайводі Т.Г. за допомогу у створенні бази даних геолого-геофізичної та петрохімічної інформації; ас. Безродному Д.А., пров. інж. Безродній І.М. за допомогу у зборі фактичного матеріалу; студ. Булгаковій О.О., Коноваленко В.В. за допомогу у підготовці матеріалу та апробації розробок автору. Автор вдячний професору Маслову Б.П. за консультації по використанню методу умовних моментів.

## СТИСЛИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі викладається мета та задачі дослідження, актуальність поставленої проблеми, наукова новизна дисертації.

В першому розділі розглядаються розвиток і сучасний стан комп'ютерних технологій геологічної інтерпретації геофізичної інформації.

Аналіз публікацій і оглядів, які відображають сучасний стан інтерпретації геофізичних даних (Страхов В.Н., Егоркин А.В., Старостенко В.І.) дає підстави стверджувати, що нині поки що не вдалося розробити і запропонувати практикам ефективну методику геологічної інтерпретації геофізичної інформації. На думку В.Н.Страхова в стадії розробки знаходиться математична теорія комплексної інтерпретації геофізичних даних. Серед методів кількісної оцінки складу геологічного розрізу переважає геолого-геофізичний метод, відображений в роботах N.Cristensen,

W.Mooney, A.L.Алейникова, A.B.Егоркина, Т.П.Егоровой та ін. В його основі лежить сейсмогравітаційна модель і петрофізичні дослідження зразків різних генетичних типів гірських порід в умовах високих тисків і температур. Глибинна будова земної кори Українського щита вивчається майже півсторіччя на основі даних ГСЗ та інтерпретації гравітаційного, магнітного, електричних і теплових полів. Достатньо повне узагальнення і аналіз цих даних, що виконані С.С.Красовським і Ю.П.Оронецьким (2000) та В.І.Старостенко, І.К.Пашкевіч, Р.І.Кутасом (2002) та свідчать про значну речовинну і структурну неоднорідність земної кори Українського щита, як по глибині, так і по латералі.

**Методологічні принципи розробки комп'ютерної технології геологічної інтерпретації геофізичної інформації.** Розробка нової комп'ютерної технології геологічної інтерпретації геофізичної інформації ґрунтується на новій науковій парадигмі геофізики (Продайвода, 2001; 2002), в основі якої лежить поняття геологічного середовища. В методологічному відношенні воно принципово відрізняється від класичного загально прийнятого фізичного визначення матеріального середовища - розглядається не лише як носій матеріальної речовини (мінеральної, геоформаційної та ін.), але і геодинамічних і геофізичних процесів. Природним атрибутом такого середовища є динамічний напружено-деформований та термопружний стан. Наявність механічного пошкодження геологічного середовища є однією із найбільш важливих і характерних його ознак. Релаксація напруг найбільш ефективно здійснюється шляхом розкриття та закриття тріщин, які в свою чергу змінюють проникливість середовища для флюїдів і, відповідно, напруги.

Локальна модель анізотропного багатокомпонентного тріщинуватого геологічного середовища, природним атрибутом якого є напружено-деформований та термопружний стан, однозначно визначається таким чином:

1. Модель складається зі скінченної кількості компонент (10-15), кожна з яких має чіткий фізичний і геологічний зміст – сукупності породоутворюючих мінералів та пустотно-тріщинного простір.
2. Локальна модель середовища розглядається в межах певного макрооб'єму, що значно перевищує характерні розміри компонентів.
3. Мікрополя напруг і деформацій носять статистично однорідний характер і задовольняють умові ергодичності.
4. Форма структурних елементів гірського породи може бути апроксимована еліпсоїдами обертання (двох- або трьох-вісними) і характеризується відношеннями піввісей даного еліпсоїду.
5. Розташування структурних елементів локальної моделі носить стохастичний характер і їх орієнтація може бути описана функцією розподілу орієнтації.
6. Фізичні властивості структурних елементів задані в кристалофізичній системі координат компоненти і в загальному випадку анізотропні.

Компоненти локальної моделі описуються набором параметрів, які можна поділити на фізичні та структурні. До фізичних відносяться пружні коефіцієнти та густина, коефіцієнт лінійного розширення та похідні всіх зазначених параметрів по тиску і температурі. Також до цих параметрів відносяться значення тиску і температури, які залежать від глибини і умов залягання гірських порід, що моделюються. До структурних параметрів відноситься форма компонентів моделі (апроксимується еліпсоїдами обертання), геометричні розміри апроксимуючої ґратки середовища. Орієнтація структурних елементів породи задається функцією розподілу орієнтації.

Розділ 2 присвячено розробці алгоритму і програми математичного моделювання ефективних термопружних і акустичних властивостей анізотропного багатокомпонентного тріщинуватого геологічного середовища.

Задача визначення ефективних термопружних властивостей анізотропного багатокомпонентного тріщинуватого геологічного середовища, що знаходиться в умовах напруженого стану і під дією високих температур, розглядається в механіці мікронеоднорідного середовища. Існує багато методів її розв'язку, які забезпечують наближене визначення ефективних термопружних властивостей, огляд яких можна знайти в роботах К.С.Александрова, Г.Т.Продайводи, С.А.Вижви, Л.П. Хорошуна, Б.П. Маслова, Л.В. Назаренко, Т.Д. Шермегора. Серед великої кількості методів найбільш ефективним виявився метод умовних моментних функцій, розроблений Л.П.Хорошуном і Б.П.Масловим, який задовольняє всім жорстким вимогам до одержаних за його допомогою чисельних результатів. Чисельні наближення ефективних пружних постійних, одержані цим методом, повинні:

- а) розташовуватися в середині інтервалу між верхніми і нижніми граничними значеннями Хашіна-Штрікмана для будь-яких об'ємних концентрацій включень;
- б) задовольняти точному розв'язку Хілла;
- в) мати вірну асимптотичну поведінку при малих концентраціях включень і при об'ємній концентрації включень, близький до 1;
- г) без будь-яких обмежень повинні враховувати анізотропію матриці і включення;
- д) не накладати ніяких обмежень на кількість компонент та їх концентрацію;
- е) кінцеві формули ефективних пружних постійних повинні бути у формі, зручній для чисельних розрахунків на комп'ютері.

**Метод умовних моментних функцій** базується на моделі стохастично неоднорідного середовища, яка спричиняє необхідність розв'язку статистично нелінійних рівнянь теорії пружності. У двохточковому наближенні, що відповідає умові однорідності випадкових полів деформацій в межах компонент, задача зводиться системи лінійних алгебраїчних рівнянь, коефіцієнти яких враховують двохточкові взаємодії між структурними елементами. Це дозволяє врахувати анізотропію, обумовлену формою і орієнтацією включень.

Приймаючи до уваги, що геологічне середовище постійно знаходиться під дією градієнтів температур, вважається, що в будь-якій точці його виконується закон Дюамеля-Неймана. Для макроскопічних напруг  $\langle \sigma_{ij} \rangle$ , деформацій  $\langle \varepsilon_{kl} \rangle$  і приросту температури  $\theta$  деякого представницького макрооб'єму, який знаходиться в умовах однорідного навантаження і рівномірного нагрівання, буде мати місце термопружне рівняння:

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = C^*_{ijkl} \langle \varepsilon_{kl} \rangle - \beta^*_{ij} \theta; \quad \beta^*_{ij} = C^*_{ijkl} \alpha^*_{kl}, \quad (2.1)$$

де  $C^*_{ijkl}$ ,  $\alpha^*_{kl}$ ,  $\beta^*_{ij}$  - ефективні тензори пружних постійних, лінійного термічного розширення і термонапруг геологічного середовища.

**Узагальнений метод умовних моментів.** В роботах Г.Т.Продайводи, С.А.Вижви, Л.В.Назаренко, Б.П.Маслова, розглядається узагальнений метод умовних моментних функцій, який забезпечує чисельні розрахунки ефективних пружних властивостей з довільними просторово-орієнтованими еліпсоїдальними включеннями по всім можливим напрямках орієнтації, які задані функцією розподілу орієнтації еліпсоїдальних включень  $f(\varphi_1, \theta, \varphi_2)$ , де  $\varphi_1, \theta, \varphi_2$  - кути Ейлера. У випадку багатокомпонентного геологічного середовища використовується розрахункова схема Морі-Танака. Формули для ефективних термопружних постійних багатокомпонентного анізотропного геологічного середовища в символічному вигляді можна представити таким чином:

$$C^* = \sum_{r=1}^{N+1} c_r C_r A_r, \quad \beta^* = \sum_{r=1}^{N+1} c_r C_r \alpha_r, \quad (2.2)$$

де  $A_r = A_m (1 + Z_r d_r)$ ,  $A_m = (I + \sum_{r=1}^N c_r Z_r d_r)^{-1}$ ,

$$\alpha_{Ar} = r_\beta A_r - \bar{Z}_r \beta_r, \quad \alpha_{Am} = r_m A_m, \quad r_\beta = \sum_{r=1}^N c_r \bar{Z}_r \beta_r, \quad r_m = \sum_{r=1}^N c_r \bar{Z}_r \alpha_{Ar},$$

$d_r = C_r - C_m$ ,  $m=N+1$ - індекс матричної компоненти моделі.

## Алгоритми чисельних розрахунків ефективних термопружних постійних геологічного середовища

Чисельне моделювання термопружних властивостей багатокомпонентного геологічного середовища забезпечується модульною системою алгоритмів. Для дослідження пружної поведінки геологічного середовища в умовах природного залягання розраховується залежність ефективних термопружних властивостей та ефективних фазових швидкостей пружних хвиль від тиску і температури. Алгоритми чисельних розрахунків, що розрізняються в залежності від просторової орієнтації компонентів, розробляються по єдиній схемі. Узагальнена блок-схема розрахунку



Рисунок 1. Блок-схема чисельних розрахунків ефективних термопружних і акустичних параметрів анізотропного тріщуватого багатокомпонентного геологічного середовища за допомогою узагальненого методу умовних моментів.



ефективних фазових швидкостей має наступний вигляд (рис.1).

Розрахунок ефективних термопружних постійних анізотропного тріщинуватого багатокомпонентного геологічного середовища здійснюється за модульним принципом в залежності від вигляду функції розподілу орієнтації мінералів і тріщин. Розроблено два алгоритми чисельного моделювання ефективних термопружних властивостей багатокомпонентного геологічного середовища, що відповідають шаровому (довільна орієнтація включень) та ромбічному типу симетрії середовища.

Чисельні розрахунки осереднених модулів пружності мінералів при різних тисках і температурі (модуль об'ємного стискання  $K$ , модуль зсуву  $G$  та коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha$  здійснюються із лінійних співвідношень:

$$\begin{aligned} K(P,T) &= K_0 + \left(\frac{\partial K_0}{\partial P}\right)_T P + \left(\frac{\partial K_0}{\partial T}\right)_P T, \\ G(P,T) &= G_0 + \left(\frac{\partial G_0}{\partial P}\right)_T P + \left(\frac{\partial G_0}{\partial T}\right)_P T, \\ \alpha(P,T) &= \alpha_0 + \left(\frac{\partial \alpha_0}{\partial P}\right)_T P + \left(\frac{\partial \alpha_0}{\partial T}\right)_P T, \end{aligned} \quad (2.3)$$

де параметри з нижнім індексом 0 мають чисельні значення, виміряні при нульовому тиску та кімнатній температурі,  $P, T$  – відповідно тиск (ГПа) та температура ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Для чисельних розрахунків азимутальної залежності фазової і променевої швидкості анізотропного багатокомпонентного геологічного середовища і побудови стереопроєкцій ізоліній швидкостей використовується алгоритм чисельного розв'язку узагальненого рівняння Гріна-Крістофеля, розроблений Г.Т. Продайводою, В.І. Нейманом, Ю.В. Нахиміним (1990).

В розділі 3 розглядається ітераційний алгоритм чисельного розв'язку задачі інверсії даних сейсмоакустики. Постановка і розв'язок задачі визначення мінералогічного складу і тріщинуватості за даними сейсмоакустики (сейсмічні швидкісні розрізи, акустичні каротажні діаграми) зв'язана зі значними обчислювальними труднощами. Використання градієнтних методів дозволяє ітеративним методом найменших квадратів знаходити розв'язок оберненої нелінійної задачі великої розмірності. Задача визначення мінералогічного складу і тріщинуватості, якщо відомий швидкісний сейсмічний розріз, називається задачею інверсії швидкостей. Це означення, прийняте в роботі, дозволяє в подальшому розмежовувати обернену задачу сейсмоакустики, що пов'язана з визначенням швидкісного розрізу і задачу інверсії швидкісного сейсмічного розрізу.

Для задачі оцінки розбіжності теоретичної моделі з рядом експериментальних даних використовується метод найменших квадратів (МНК):

$$\Phi(\vec{x}) = \sum_{i=1}^N \left( V_i^{(експ)} - V_i^{(теор)} \right)^2, \quad (3.1)$$

де  $V_i^{(експ)}$ ,  $V_i^{(теор)}$  - експериментально визначений та теоретично розрахований ряди даних про швидкість пружних хвиль в середовищі,  $N$  - кількість даних в експериментальному ряді,  $\vec{x}$  - вектор невідомих параметрів.

За класичним визначенням Ж.Адамара задача відноситься до класу некоректно поставлених. Поведінка цільового функціоналу має доволі складний, багатоекстремальний характер, мінімізація може приводити до отримання еквівалентних розв'язків задачі. Тому задача оптимізації полягає в пошуку глобального мінімуму на обмеженому просторі параметрів. Серед методів глобальної оптимізації використовуються метод кубічної інтерполяції та метод перебору по заданій сітці точок. Другий метод застосовується для аналізу характеру цільової функції. Для задачі визначення мінералогічного складу геологічного середовища існують обмеження на концентрацію

компонентів моделі, як на окремі з них (з геологічних міркувань), так і на всю їх суму. Для  $i$ -ї точки спостереження ця система буде мати вигляд:

$$\begin{cases} X_{MIN}^{(K)} \leq X_i^{(K)} \leq X_{MAX}^{(K)}, \\ \sum_{K=1}^N X_i^{(K)} = 1. \end{cases} \quad (3.2)$$

Методи локальної оптимізації використовуються для прискорення збіжності ітераційного процесу, коли є впевненість, що ітераційний процес знаходиться в безпосередній близькості від глобального мінімуму. Існує велика кількість методів нелінійної локальної оптимізації, з них в програмному комплексі реалізовано градієнтний та квазіньютонівський (метод Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно).

**Стійкість розв'язку задачі інверсії.** Для з'ясування питання про стійкість вирішення задачі інверсії даних сейсмоакустики було проведено моделювання поведінки функції типу (3.1) на обмеженому просторі параметрів моделі. Використавши метод перебору параметрів по рівномірній сітці були обраховано цільову функцію в різних варіантах вихідних даних. Основні результати чисельних експериментів викладені автором в [2]. Було доведено, що використання двох чи трьох незалежних рядів даних (швидкостей повздовжньої і поперечної хвилі, густини) дозволяє значно звужити область можливих розв'язків і позбутися яружного характеру функції.

Розділ 4 присвячено програмно-алгоритмічним засобам геологічної інтерпретації даних сейсмоакустики. Розроблена відповідна комп'ютерна технологія, що задовольняє принципу єдності інтерпретаційного процесу (не залежно від його стадії) та виконує повне його інформаційне забезпечення [1,6]. Ці умови зумовили декомпозицію програмного комплексу та його побудову згідно модульного принципу [1]. Згідно цього принципу були розроблені наступні незалежні блоки:

1. Модулі чисельного моделювання ефективних пружних постійних гірських порід.
2. Модулі розрахунку ефективних фазових швидкостей пружних хвиль для різних геолого-геофізичних систем спостережень.
3. Модулі нелінійної оптимізації даних для методу найменших квадратів.
4. База даних геолого-геофізичної інформації та засоби роботи з даними (БДГГІ).
5. Модулі візуалізації даних та результатів обчислень.
6. Система управління потоками обчислень та візуалізації.

Перші три блоки включають в себе по декілька модулів побудованих по єдиній схемі згідно принципів об'єктно-орієнтованого програмування. Взаємодія між модулями в різних блоках реалізується спеціальними процедурами передачі даних. Інтегрована база даних геолого-геофізичної інформації розроблена для структуризації даних про геологічні об'єкти дослідження за регіональним принципом, а також виконує функції вибору і розрахунку параметрів термодинамічних моделей, петрохімічних перерахунків тощо.

Модулі візуалізації даних забезпечують інтерактивний контроль за ходом вирішення задачі інверсії швидкостей пружних хвиль, вивід кінцевого та проміжних результатів в графічному та табличному вигляді, зручному для аналізу.

Система управління потоками обчислень дозволяє інтерпретатору зупиняти ітераційний процес на будь-якому кроці та при потребі продовжувати його без втрати проміжного результату. Основна мета такого підходу – інтерактивний контроль ходу вирішення задачі.

Модулі чисельного розрахунку ефективних термопружних властивостей геологічного середовища і ефективних фазових швидкостей пружних хвиль реалізують алгоритми узагальненого методу умовних моментів, описаного в розділі 2.

**Інтегрована база геолого-геофізичної інформації.** Основною метою створення інтегрованої бази даних було поєднання розрізної та неповної геологічної та геофізичної інформації з метою створення обґрунтованого початкового наближення в задачі інверсії. Інтегрування бази даних до програмного комплексу дозволяє створювати двосторонній зв'язок між БДГПІ та програмними модулями чисельних розрахунків, без використання спеціальних засобів управління базами даних.

Основні блоки інформації за якими можна згрупувати таблиці бази даних, та їх взаємодія з програмним комплексом наведені на рис.2. Центральним є блок геофізично-петрофізичних спостережень (ГПС), в якому міститься інформація про точки спостереження та розподіли в них основних геофізичних параметрів (швидкості розповсюдження пружних хвиль, густини). Цей блок нерозривно зв'язано з блоком географічно-геологічної локалізації точок спостереження (об'єкти дослідження; ОД). Останній блок дозволяє структурувати базу даних за регіональним принципом, що важливо при застосуванні моделей розподілу тиску і температури з глибиною та петрофізичних регресійних залежностей, що можуть суттєво змінюватися від регіону до регіону.

Петрографічна інформація, що лежить в основі моделі початкового наближення при вирішенні задачі інверсії сейсмічних швидкостей зберігається в блоці петрографічної інформації (ПІ). Основна таблиця цього блоку містить не тільки оцінку вмісту основних породоутворюючих мінералів, а також і обмеження на їх концентрацію, накладені з геологічних або петрологічних міркувань. При чисельному розрахунку ефективних пружних і термопружних властивостей анізотропного багатокомпонентного геологічного середовища перехід від мінералогічного складу до фізичних характеристик здійснюється через фізичні властивості мінералів: значення модулів пружності та їх похідних по тиску та температурі, які зберігаються в підпорядкованому блоці фізичних властивостей мінералів (ФВМ).

Параметричні залежності (ПЗ), що визначають розподіли тиску і температури з глибиною, рівняння регресії для петрофізичних властивостей (залежності густини від швидкості і т.п.) знаходяться в уособленому блоці бази даних та мають зв'язок з розрахунком ефективних пружних властивостей геологічного середовища через спеціальні процедури програмного комплексу.

**Методика використання автоматизованої системи інтерпретації даних.** При використанні

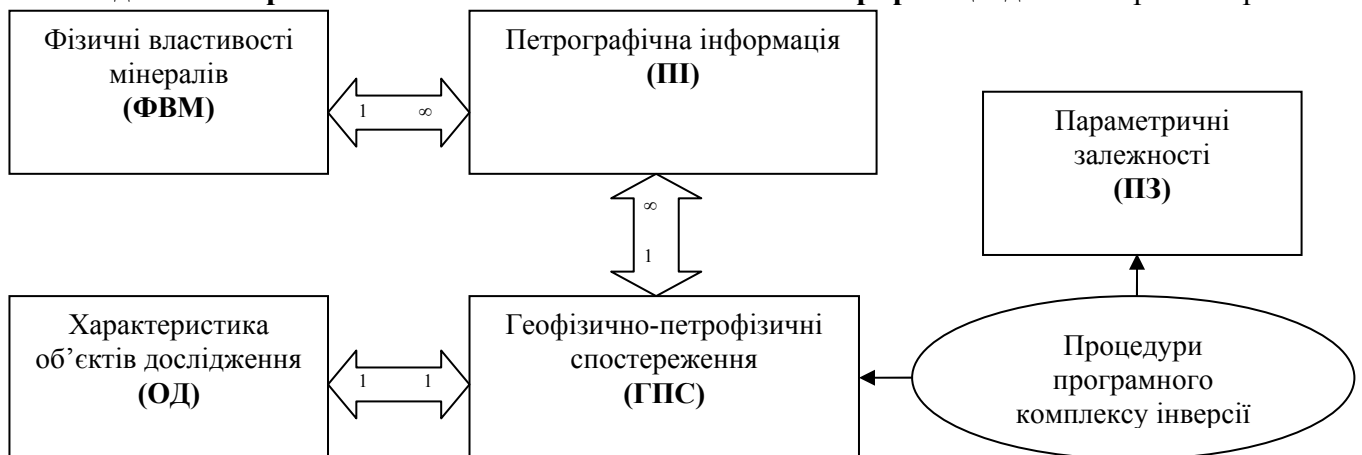


Рисунок 2. Схема даних інтегрованої бази даних геолого-геофізичної інформації.

автоматизованої системи для виконання інверсії можна виділити декілька етапів роботи:

- збір апріорної геологічної інформації та наповнення бази даних;
- вироблення моделі початкового наближення мінералогічного складу розрізу з врахуванням наявного геологічного районування;
- проведення інверсії швидкісних розрізів по всьому об'єму геофізичних даних в декілька етапів, на яких проміжні результати коректуються по комплексу геологічних ознак.

На основі розроблених алгоритмічно-програмних засобів створено сучасний програмний комплекс вирішення задачі геологічної інтерпретації даних сейсмоакустики, що дозволяє в автоматизованому режимі розв'язувати задачу інверсії сейсмічних швидкісних розрізів в параметри багатоконпонентної моделі геологічного середовища.

Програмний комплекс включає в себе реляційну базу даних та процедури управління даними, що забезпечує швидку вибірку даних та їх верифікацію. Інтеграція бази даних геолого-геофізичної інформації до програмного комплексу дозволила створити інструменти для роботи з моделями мінералогічного складу і тріщинуватості багатоконпонентного анізотропного геологічного середовища.

В *розділі 5* описано результати вивчення мінералогічного складу земної кори центральної частини українського щита за даними сейсмоакустики. Практичне застосування розробленого програмного комплексу полягає в інтерпретації швидкісних сейсмічних розрізів з метою оцінки мінералогічного складу земної кори.

За допомогою програмного комплексу інверсії даних зроблено інтерпретацію глибинних сейсмічних досліджень центральної частини Українського щита. Геологічною базою при виборі моделі початкового наближення для верхньої частини земної кори став розріз Кіровоградської глибокої свердловини СГ-3000 (глибина 3500 м). Для інверсії були використані дані акустичного каротажу (АК), сейсморозвідки, вертикального сейсмічного профілювання (ВСП), глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ).

Територію Кіровоградського мегаблоку перетинає 5 профілів ГСЗ: субширотні VIII, XXV, XXX та субмеридіональні XXIV, XXXIV. Кінематична інтерпретація даних сейсморозвідки була проведена Соллогубом В.Б., Трипольским А.А., Ильченко Т.В. та ін. Для профілів ГСЗ за даними гравірозвідки відомі розподіли густини в земній корі, що було використано при інверсії швидкостей пружних хвиль і дозволило зменшити неоднозначність вирішення задачі.

### **Створення моделей мінералогічного складу земної кори.**

При регіональних дослідженнях будови континентальної земної кори можна виділити наступні джерела:

1. Петрографічні дослідження зразків гірських порід при геологічному картуванні та картувальному бурінні.
2. Петрографічні та петрофізичні дослідження керну глибоких і надглибоких свердловин.
3. Прогнозні геолого-геофізичні розрізи, складені з врахуванням структурно-тектонічних критеріїв.
4. Узагальнені петрологічні моделі земної кори.
5. Петрографічні дослідження зразків глибинних ксенолітів гірських порід.

Для опису складу геологічного середовища було вибрано наступний набір породоутворюючих мінералів: кварц, калієвий польовий шпат, плагіоклази (альбіт і анортит), біотит, амфіболи, ортопіроксени, клінопіроксени, гранати, олівін. Групи мінералів було згруповано за близькими фізичними властивостями та мінералогічною формулою. За результатами експериментальних визначень пружних і густинних властивостей мінералів було проведено статистичний аналіз та осереднення.

**Кількісний мінералогічний склад геологічного розрізу СГ-3000 за результатами інверсії даних АК і ВСП.** Проведення інверсії швидкостей, визначених різними методами, показало задовільну узгодженість між даними кількісних мінералогічних підрахунків петрографічних досліджень на шліфах зразків керну і даними інверсії пластових швидкостей ВСП для основних породоутворюючих мінералів: кварцу, калієвого польового шпату, альбіту і анортиту, біотиту. Найбільші розходження спостерігаються в оцінці меланократових мінералів, загальний вміст яких

в розрізі невеликий. Це пов'язується з локальною мінливістю середовища, особливо в зонах розвинення мігматизації і дрібних дайок.

Співставлення щільності тріщин одержаних шляхом інверсії ультразвукових досліджень зразків, АК і ВСП показало, що у верхній частині розрізу свердловини між даними ВСП і АК майже немає кореляції, що свідчить про значний вплив на дані АК техногенної тріщинуватості, так як на результати досліджень ВСП вплив техногенної тріщинуватості стовбуру свердловини набагато менший. В тих частинах геологічного розрізу, де спостерігається кореляція між щільністю тріщин, одержаних шляхом інверсії даних АК і ВСП, є підстави стверджувати, що ми маємо справу з тектонічною тріщинуватістю.

**Інверсія даних узагальненої моделі континентальної земної кори.** Для вибору початкового наближення мінералогічного складу континентальної земної кори була використана узагальнена петрологічна модель (Cristensen N., Mooney W., 1995). Інверсія швидкостей повздожніх і поперечних хвиль та густини за даними цієї моделі дозволила отримати кількісний мінералогічний склад земної кори, що в цілому узгоджується з петрологічною моделлю, як за валовим мінералогічним складом (рис.3), так і за результатами порівняльного аналізу вмісту кремнезему. Спостерігається поступовий перехід від переважно лейкократового складу середовища в верхній частині кори до меланократового для нижньої кори. Для оцінки хімічного складу виконано перерахунок мінералогічного складу за осередненим хімічним складом основних породоутворюючих мінералів, притаманних УЩ. Для порівняння також було зроблено оцінки  $\text{SiO}_2$  за регресійними формулами з робіт А.Л.Алейникова та А.В.Егоркіна. Розподіл вмісту кремнезему дуже добре корелює з регресійними оцінками в верхній та середній частині розрізу, а для нижньої кори наближається до оцінки (Cristensen, Mooney, 1995)

**Результати інверсії швидкісних розрізів вздовж профілів ГСЗ.** Отриманий розподіл основних породоутворюючих мінералів та оцінка тріщинуватості геологічного середовища відображають основні геологічні структури: Корсунь-Новомиргородський плутон, Новоукраїнський масив та блоки I порядку. Інтерпретуючи отриманий результат, можна зробити висновок, що глибина розповсюдження порід плутону: 5-7 км. В той же час, до глибин 12-20 км (за сейсмічними даними – границя  $K_2$ ) спостерігається латеральна відмінність валового мінералогічного складу в межах окремих блоків. В середній і нижній частині кори ця диференціація зникає.

Система розташування профілів ГСЗ на території Кіровоградського мегаблоку УЩ дозволяє зробити спробу інтерполяції отриманої по окремим профілям оцінки кількісного мінералогічного складу в середині полігонів, обмежених двома або більше профілями.

Було побудовано зрізи по горизонтальним площинам на рівнях 2, 10 та 18 км. Вперше, за допомогою розробленого програмного забезпечення, проведені дослідження з метою кількісної оцінки валового мінералогічного складу і тріщинуватості земної кори методом інверсії даних сейсмічних швидкостей в Центральній частині УЩ. Отримано нові геологічні результати для профілів глибинного сейсмічного зондування на території Кіровоградського мегаблоку. Відносно

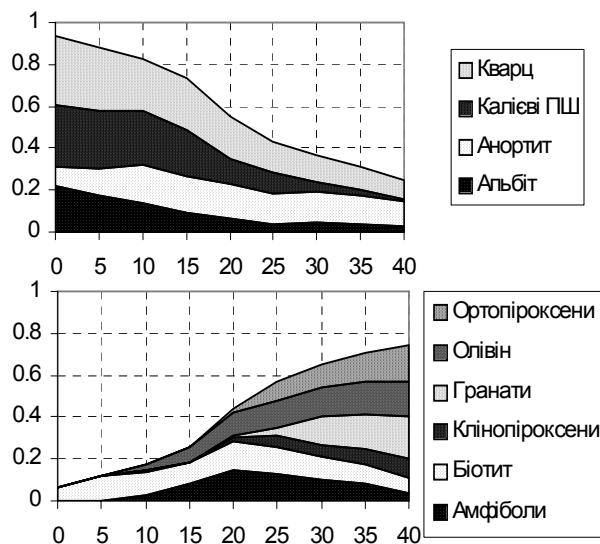


Рисунок 3. Глибинний (в км) розподіл вмісту основних породоутворюючих мінералів за результатами інверсії моделі Крістенсена та Муні.

висока вивченість території методом ГСЗ дозволило побудувати тривимірну модель геологічної будови центральної частини Українського щита за даними сейсмічних спостережень.

В *розділі 6* наводяться результати дослідження орієнтації мінералів і тріщин за даними інверсії азимутальної анізотропії сейсмічних швидкостей. Багатокомпонентна модель анізотропного тріщинуватого геологічного середовища дозволяє вирішувати задачу інверсії даних сейсмоакустики не тільки для визначення оцінки кількісного вмісту мінералогічного складу гірських порід, а також для визначення форми та орієнтації її структурних елементів, в якості яких виступають породоутворюючі мінерали та тріщини.

Вперше застосовано алгоритм та програму інверсії азимутальної анізотропії сейсмічних швидкостей для дослідження функції розподілу орієнтації структурних елементів багатокомпонентного анізотропного геологічного середовища. Проведено інверсію даних азимутальних сейсмічних спостережень в океанічній верхній мантії. Це дозволило отримати кількісну оцінку вмісту олівіну та піроксенів та їх функцію розподілу орієнтації, що дозволило чисельно пояснити анізотропію швидкостей пружних хвиль.

### ВИСНОВКИ

Основні наукові результати зводяться до наступного:

- 1) Розроблений алгоритм та програмне забезпечення для моделювання ефективних термопружних властивостей багатокомпонентного анізотропного тріщинуватого геологічного середовища, який забезпечує чисельні розрахунки швидкостей пружних хвиль в заданих термобаричних умовах.
- 2) Розроблена база даних фізичних властивостей основних породоутворюючих мінералів, яка включає в себе пружні модулі мінералів, густину, коефіцієнт лінійного розширення, похідні всіх параметрів по тиску і температурі.
- 3) Базу даних інтегровано до програмного комплексу інверсії, розроблені спеціальні процедури управління даними, проведення петрохімічних перерахунків.
- 4) Розроблено алгоритм глобальної оптимізації для задачі інверсії даних сейсмоакустики. Сформульовані критерії стійкості вирішення задачі мінімізації цільового функціоналу методу найменших квадратів.
- 5) Одержані важливі результати при геологічній інтерпретації сейсмоакустичних даних:
  - Визначено мінералогічний склад земної кори центрального району Українського щита.
  - Одержаний розподіл щільності тріщин в земній корі центральної частини УЩ.
  - Розроблено методику визначення природи тріщинуватості за даними комплексних досліджень АК та сейсмічних методів в свердловині.
  - Розроблено методику визначення функції розподілу орієнтації мінералів і тріщин за даними азимутальних спостережень швидкостей пружних хвиль.

Апробація програмного комплексу на реальних геологічних об'єктах показала великі можливості запропонованого методу геологічної інтерпретації даних сейсмоакустики, зокрема, при оцінці мінералогічного складу і тріщинуватості, дослідження природи сейсмічної анізотропії земної кори.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДИСЕРТАЦІЇ.

1. Продайвода Г.Т., Віршило І.В. Розробка програмного комплексу інтерпретації даних сейсмоакустики // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія - 2002 - Вип. 23–24 - С. 7–9.
2. Віршило І.В. Оцінка стійкості розв'язку задачі інверсії даних сейсмоакустики // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія – 2003 - Вип. 26 – С.17-20

3. Продайвода Г.Т., Віршило І.В., Чорнявська К.І., Продайвода Т.Г. Оцінка кількісного мінералогічного складу геологічного розрізу Кіровоградської глибокої свердловини (СГ-3000) за даними АК і ВСП// Вісн. Київ. ун-ту. Геологія – 2003 - Вип. 27 – С.83-85
4. Продайвода Г.Т., Віршило І.В., Продайвода Т.Г. Сейсмоакустический метод количественной оценки состава и тектонических нарушений литосферы // Материалы XIII сессии РАО, М.:ГЕОС, 2003, т.2, с.72-75
5. Продайвода Г.Т., Віршило І.В. Інверсія даних сейсмоакустики в параметри тріщинуватості геологічного середовища // Тези міжнародної конференції "Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища". Київ. - 2000 - С.18
6. Продайвода Г.Т., Віршило І.В. Розробка програмного комплексу інверсії даних сейсмоакустики // Актуальні проблеми геології України. Матеріали наукової конференції професорсько-викладацького складу геологічного факультету. Київ - 2001 - С.64-65
7. Продайвода Г.Т., Віршило І.В. Інверсія даних про швидкість пружних хвиль при оцінці пружних властивостей середовища //Тези міжнародної конференції "Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища". Київ. - 2001- С.24-25
8. Prodayvoda G., Virshylo I. Inverse at interpretation of seismoacoustical data // Internat. Conf. "Ill-Posed and inverse problems", Novosibirsk: Sobolev Institute Press – 2002 - p. 132–133.
9. Продайвода Г.Т., Продайвода Т.Г., Віршило І.В., Чорнявська К.І. Кількісний мінералогічний аналіз геологічного розрізу Кіровоградської свердловини (СГ–3000) за даними акустичного каротажу // Тези міжнародної конференції "Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища" - 2002 - С. 30–31.
10. Продайвода Г.Т., Віршило І.В., Продайвода Т.Г. Сейсмомінералогічні критерії кімберлітового магматизму Архангельської алмазоносної провінції // Тези міжнародної конференції "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища"- 2003 - С. 10–11.
11. Віршило І.В. Методика и программа построения сейсмоминералогических моделей земной коры // Тезисы международной научно-практической конференции молодых ученых "Геофизика-2003". С.Пб. – 2003 – С.35-36
12. Продайвода Г.Т., Омельченко В.Д., Віршило І.В., Продайвода Т.Г. Глубинное сейсмическое геокартирование и диагностика геодинамических процессов Коростенского плутона // Сб. Научное наследие Г.А. Гамбургцева. М.: Наука, 2003, С.98-107
13. Virshylo I.V., Prodayvoda G.T. Mineralogical composition of continental Earth crust estimated by inversion of seismic velocities and density // Inter. Conf. "Problems of GeoCosmos". St.Petersburg – 2004 – p.67-68

## АНОТАЦІЯ

**Віршило І.В. Автоматизована система розв'язку задач інверсії даних сейсмоакустики для багатокомпонентного анізотропного геологічного середовища. – Рукопис.**

**Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидату геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 2004.**

Дисертаційна робота присвячена розробці методики та алгоритмічно-програмних засобів розв'язання задач інверсії сейсмоакустичних даних. В основу роботи покладено методологічно новий підхід до поняття геологічного середовища, що розглядається не тільки як носій фізичних властивостей, але і динамічних процесів, що в ньому відбуваються. Математично геологічне середовище апроксимується багатокомпонентною моделлю матричної структури з еліпсоїдальними пружними включеннями, які мають просторово задану імовірнісну функцію розподілу орієнтації. Компонентами моделі є мінерали і тріщини. Поставлена та вирішена задача інверсії фазових швидкостей пружних хвиль в параметри багатокомпонентного геологічного середовища. Задача вирішена методом найменших квадратів (МНК) з використанням нелінійних методів глобальної та локальної оптимізації. Визначені критерії стійкості знаходження компактної множини розв'язків МНК на обмеженому просторі параметрів моделі. Розроблені алгоритми реалізовані в програмному комплексі інверсії даних сейсмоакустики, що включає в себе інтегровану базу даних геолого-геофізичної інформації. Проведено дослідження мінералогічного складу та тріщинуватості континентальної земної кори за даними глибинного сейсмічного зондування в центральній частині Українського кристалічного щита. Методом інверсії визначено орієнтацію мінералів і тріщин за даними азимутальних сейсмічних спостережень в океанічній верхній мантії.

**Ключові слова:** ефективні пружні властивості, тиск, температура, анізотропія, інверсія даних, математичне моделювання, база даних, геологічна інтерпретація, оптимізація.



## АННОТАЦИЯ

**Виршило И.В. Автоматизированная система решения задач инверсии данных сейсмоакустики для многокомпонентной анизотропной геологической среды. – Рукопись.**

**Диссертация на соискание научной степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.22 – геофизика, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, 2004.**

В диссертации рассматриваются вопросы геологической интерпретации данных о скоростях упругих волн, зарегистрированных сейсмическими и сейсмоакустическими методами. Принято концептуально новое представление о геологической среде, как о многокомпонентной анизотропной трещиноватой системе, которая является носителем информации не только о физических свойствах, но и протекающих в ней динамических процессов. Математически она аппроксимируется матричной моделью с упругими включениями эллипсоидальной формы. Пространственная ориентация включений, в роли которых выступают минералы и трещины, описывается вероятностной функцией распределения ориентации. Важным элементом описываемой системы являются давление и температура. На основе обобщенного метода условных моментных функций разработаны алгоритмы численного расчета эффективных упругих свойств многокомпонентной геологической среды (для изотропного и ромбического приближений симметрии), что позволяет получить значения фазовых и лучевых скоростей упругих волн. Разработан алгоритм и методика инверсии скоростей продольных и поперечных упругих волн в параметры геологической среды: концентрацию, форму и функцию распределения ориентации минералов и трещин. Решение задачи инверсии базируется на методе наименьших квадратов с использованием нелинейных алгоритмов глобальной и локальной оптимизации.

Разработанные алгоритмы численных расчетов реализованы в программном комплексе инверсии сейсмоакустических данных, что позволяет проводить геологическую интерпретацию данных геофизических наблюдений. Для хранения, обработки и выборки данных создана интегрированная база данных геолого-геофизической информации, которая содержит сведения об объекте исследования: проведенных геофизических наблюдениях, априорной геологической информации, физических свойствах основных породообразующих минералов, распределениях давления и температуры с глубиной. Определены критерии получения устойчивых компактных множеств решения задачи МНК, что достигается несколько ступенчатой оптимизацией на ограниченном пространстве параметров модели.

Проведены исследования минералогического состава и трещиноватости методом инверсии обобщенной петролого-геофизической модели континентальной земной коры и данных глубинного сейсмического зондирования на территории центральной части Украинского кристаллического щита. Получено распределение основных породообразующих минералов и трещиноватости, что позволяет судить о геологическом строении. Разработан метод определения природы трещиноватости, путем инверсии комплекса измерений скоростей упругих волн в скважинах методами акустического каротажа и вертикального сейсмического профилирования. Проведены исследования ориентации минералов и трещин по данным азимутальной сейсмической анизотропии. Получены новые результаты о структуре океанической верхней мантии.

**Ключевые слова:** эффективные упругие свойства, давление, температура, анизотропия, инверсия данных, математическое моделирование, база данных, геологическая интерпретация, оптимизация.

## SUMMARY

Virshylo I.V. The computerized system of seismoacoustical data inverse problems solution for multi-component anisotropic geological medium. – Manuscript.

Thesis for a candidates degree of geological sciences on a speciality 04.00.22 – geophysics. Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, 2004.

The thesis is devoted to development of methodic, algorithms and programs for solution of seismoacoustical data inverse problem. The new methodological approach to geological medium is put in basis of work – the dynamic processes in medium is considered in addition to physical properties. Mathematically the geological medium is approximated by multi-component model with ellipsoidal elastic inclusions, which has probabilistic function of orientation distribution. The model consists of minerals and cracks. The inverse problem of phase velocities into multi-component geological medium parameters is solved. Task is solved using least-square method (LSM) applying non-linear method of overall optimization. The criteria's of stationary determination of compact multitude of LSM solution is defined.

The developed algorithms are applied in program complex of seismoacoustical data inversion, which include integrated database of geological and geophysical information. The mineralogical composition and cracking of continental Earth crust is investigated using data of deep seismic sounding in central part of Ukrainian Shield. The orientation of minerals and cracks is defined by inversion method of azimuth seismic observations in oceanic upper mantle.

**Key words**: effective elastic properties, pressure, temperature, anisotropy, inverse problem, mathematical modeling, database, geological interpretation, optimization.