

## ТЕХНОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНОЇ АНІЗОТРОПІЇ ГІРСЬКИХ ПОРІД ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ТЕКТОНОФАЦІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Наводиться технологія акустичного текстурного аналізу, що базується на петроакустичних дослідженнях і включає в себе 2 блоки: експериментальні вимірювання швидкостей квазіповздовжніх і квазіпоперечних хвиль та обробка і інтерпретація результатів. Методика дає можливість отримувати вичерпну інформацію про анізотропію пружних хвиль в гірських породах, пружну симетрію та текстуру порід, послідовність розвитку деформацій і тектонічну природу умов їх формування і перетворення тощо.

**Ключові слова:** петрофізика; анізотропія; тектонофаціальний аналіз.

Для дослідження дислокаційної тектоніки застосовують методи структурного і тектонофаціального аналізу, в основу якого покладено кількісні ознаки деформацій та текстурно-структурні та мінеральні зміни порід, які супроводжують ці деформації.

Тектонічні деформації гірських порід проявляються в орієнтації кристалографічних осей мінералів, у видовженні або сплюсненні породотвірних мінералів та формуванні макро- і мікротріщин, які залежать від інтенсивності деформацій і термодинамічних умов (температури, напруженого стану).

Існує закономірна відповідність між структурою, складом і ступенем деформації.

В роботі розглядаються можливості застосування сейсмоакустичного інваріантно-поляризаційного методу для текстурного аналізу деформацій гірських порід.

У квазіоднорідному анізотропному середовищі спостерігаються досить інтенсивні ефекти акустичного двопробного заломлення. Внаслідок того, що особливі напрямки в квазіоднорідних середовищах визначити важко, а при вимірюванні необхідно використовувати імпульси великої тривалості, то задача виміру фазових ефективних квазіпоперечних хвиль вважається особливо важкою.

Розроблена методика акустичного текстурного аналізу дає можливість отримувати вичерпну інформацію про анізотропію пружних хвиль в гірських породах, визначати пружну симетрію та текстуру порід. Ця інформація особливо важлива при інтерпретації геофізичної інформації, отриманої при дослідженні порід на значних глибинах і в складних геологічних умовах, зокрема, для тектонофаціальних досліджень метаморфічних порід.

Технологія таких досліджень (рис. 1) включає в себе 2 блоки:

- експериментальні вимірювання швидкостей квазіповздовжніх і квазіпоперечних хвиль;
- обробка і інтерпретація експериментальних результатів.

*Методика експериментальних вимірювань швидкостей*

З штуфа гірської породи на каменерізному верстаті виготовляється зразок. Форма зразка

залежить від характеру анізотропності породи, що досліджується.

У випадку, коли геологічне середовище можна прийняти як ізотропне, достатньо проводити вимірювання швидкостей повздовжньої та поперечних хвиль в одному напрямку, форма зразка має бути циліндричною.

У випадку, коли група симетрії породи описується кубічною, проводяться вимірювання у трьох взаємоортогональних напрямках і форма зразка рекомендується у вигляді куба, або 3 циліндрів вздовж трьох взаємоортогональних напрямків.

У решті випадків, коли тип симетрії нижче або невідомий, геологічне середовище можна вважати анізотропним і зразок виготовляють у вигляді куборомбодекаедру.

Ультразвукова апаратура для вимірів швидкості забезпечує формування достатньо широкого набору частот заповнення і тривалості акустичних імпульсів, що застосовуються при вимірюваннях. Діапазон частот заповнення імпульсів від 0,25 МГц до 5 МГц забезпечує успішне дослідження фазових швидкостей на зразках практично будь-яких генетичних типів гірських порід [Продайвода та інш., 2009; Безродний, 2008].

Середньоквадратична похибка визначення швидкостей повздовжніх і поперечних хвиль у кристалічних зразках не перевищує 0,4% для повздовжніх і 0,5% для поперечних хвиль. У осадових породах вона дещо нижче: 0,5% для повздовжніх і 0,9% для поперечних на частоті 0,4–0,8 МГц.

*Обробка і інтерпретація результатів петроакустичних досліджень*

Розроблений алгоритм і програма інверсії азимутальної залежності квазіповздовжніх і квазіпоперечних швидкостей у функцію розподілу орієнтації мікротріщин.

На цьому етапі проводиться визначення акустичних констант [Продайвода та інш., 2009; Безродний, 2008], яке має важливе значення для вирішення цілого ряду задач:

- вибору стандартної акустичної системи координат,
- визначення підсистеми симетрії,
- обґрунтування методики урівноваження фазових швидкостей тощо.

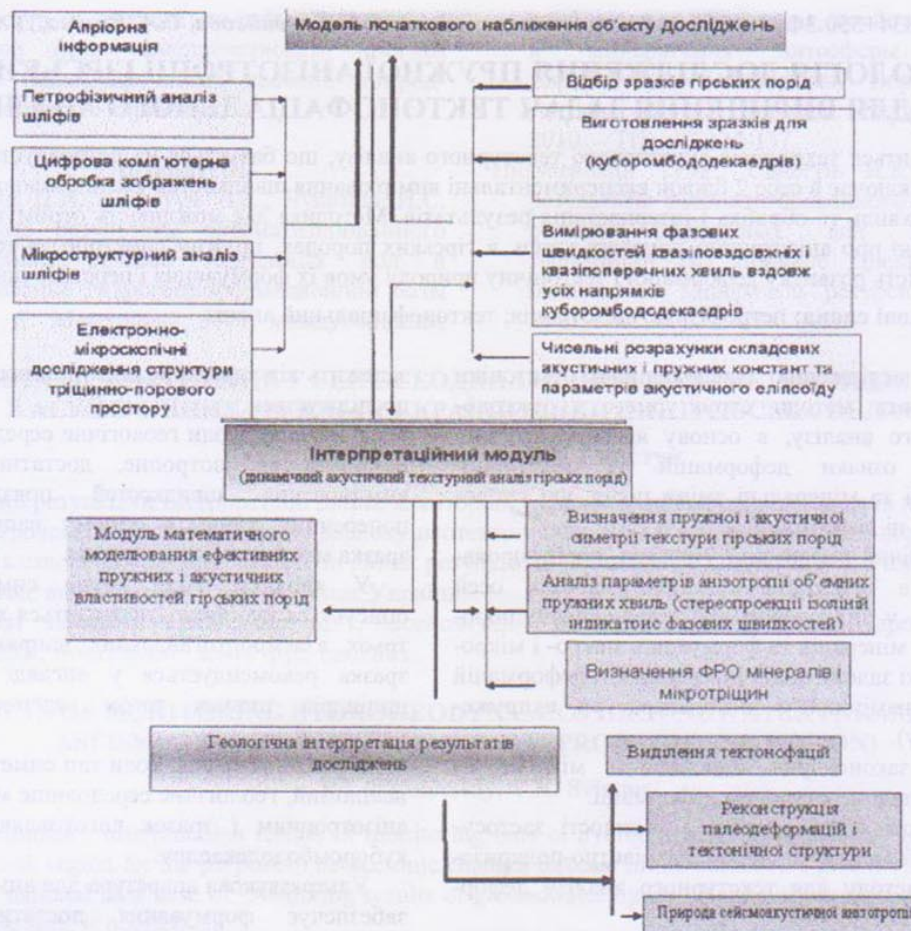


Рис. 1 Схема вимірювально-інтерпретаційної технології

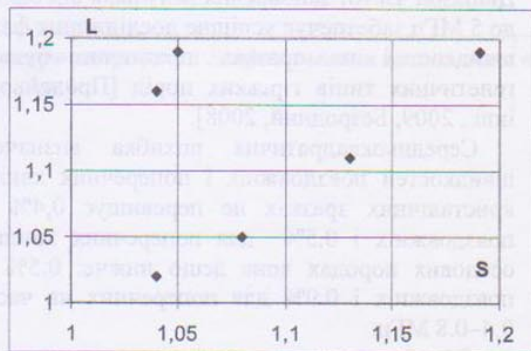


Рис. 2. Діаграма параметрів акустичного еліпсоїда текстур деяких метаморфічних порід керну Криворізької надглибокої свердловини

Для згладжування флуктуаційної складової ефективної фазової швидкості, яка обумовлена недосконалістю текстур гірських порід, застосовується інваріантно-поляризаційний метод [Продайвода та інш., 2009; Безродний, 2008]. Згортка акустичного тензора  $\mu_i$  є інваріантом. Отже, в будь-яких трьох взаємно ортогональних напрямках хвильової нормалі сума квадратів фазових швидкостей ізонормальних хвиль буде постійною величиною.

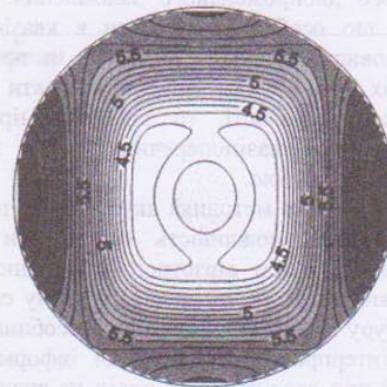


Рис. 3. Стереопроєкція вказівної поверхні фазової швидкості квазіповздожньої хвилі біотитового сланцю Криворіжжя

Ця фундаментальна властивість будь-якого анізотропного середовища використовується для зрівноваження ефективних фазових швидкостей в робочих системах координат куборомбододекаедру [Продайвода та інш., 2009; Безродний, 2008]. Величина коефіцієнта відносної середньоквадратичної акустичної анізотропії ( $A_\mu$ ) визначається як міра відхилення акустичних констант анізотропної текстури від найближчої до неї ізотропної текстури.

Співставлення власних значень з урахуванням їхніх довірчих границь дозволяє стверджувати, що симетрія акустичного тензору досліджених зразків метаморфічних порід є не вище ромбічної.

Проводиться аналіз параметрів акустичного еліпсоїду: акустичної лінійності  $L_a = \mu_0 / \mu_m$  і акустичної сланцюватості  $S_a = \mu_0 / \mu_p$  (тут  $\mu_0$ ,  $\mu_m$ ,  $\mu_p$  - відповідно найбільше, проміжне й найменше власні значення акустичного тензору). Графік залежності  $L_a = f(S_a)$  (рис. 2) характеризує ступінь упорядкованості елементів текстури породи вздовж окремих напрямків (акустична лінійність) або розміщення на площині (акустична сланцюватість).

На наступному етапі обчислюються усереднена (регулярна) складова  $\langle C_{mn} \rangle$  ефективного тензору пружних постійних, яка дає оцінку дисперсії згладженої флуктуаційної складової.

Проводиться аналіз параметрів анізотропії, їх азиму-тальна залежність представляється у вигляді стерео-проекцій ізоліній (рис. 2) вказівних значень параметрів: фазової швидкості квазіповздовжньої та різниці між "швидкою" і "повільною" квазіпоперечними хвилями, кута відхилення вектора пружних зміщень і векторів променевих швидкостей від напрямку хвильової нормалі, диференціального коефіцієнту пружної анізотропії.

За даною методикою отримані експериментальні дані про пружні постійні зразків метаморфічних порід Криворізької надглибокої

свердловини і її полігону, вони дозволяють зробити певні висновки відносно пружної симетрії порід, які відібрані зі значних глибин. Розглянуті кристалічні сланці, залізисті кварцити, амфіболіти, плагіограніти і плагіомігматити, гнейси. Текстури досліджених порід відносяться до класу планальних і аксіальних текстур моноклінної, тетрагональної та ромбічної симетрій.

В досліджених зразках порід, які неодноразово зазнавали впливу тектонічних деформацій, анізотропія викликана впорядкованістю мікротріщин і мінералів за формою та кристалографічною орієнтацією мінералів. Впорядкованість мікротріщин, яка викликана залишковими напруженнями, змінюється в межах зразка та відображає зміну локальних полів мікронапруг, які обумовлені будовою петроструктури.

### Література

- Безродний Д.А. Пружна анізотропія метаморфічних порід Кривбасу і її використання для вирішення задач тектонофаціального аналізу // Автореферат дис. на здобуття наукового ступеня канд. геолог. н. – 2008.
- Продайвода Г.Т., Вижва С.А., Безродний Д.А., Безродна І.М. Математичне моделювання тектонофацій метаморфічних порід епізони Кривбасу // Геоінформатика. 2009. - № 3. – С. 68-73.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕКТОНОФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Продайвода Г.Т., Вижва С.А., Безродный Д.А.

Приводится технология акустического текстурного анализа, которая базируется на петроакустических исследованиях и состоит из двух блоков: экспериментальные измерения скоростей квазипродольных и квазипоперечных волн, обработка и интерпретация результатов. Методика дает возможность получать исчерпывающую информацию об анизотропии упругих волн в горных породах, упругую симметрию и текстуру пород, последовательность развития деформаций и тектоническую природу условий их формирования и преобразования и т.п.

**Ключевые слова:** петрофизика; анизотропия; тектонофациальный анализ.

## TECHNOLOGY STUDY OF ELASTIC ANISOTROPY OF ROCKS TO SOLVE PROBLEMS TECTONOFACING ANALYSIS

G. Prodayvoda, S.Vygva, D. Bezrodny

The texture analysis of acoustic technology, which is based on the petroacoustic research and consists of two parts: the experimental measurements of velocities of quasi-longitudinal and quasi-processing waves and interpretation of results are given. The method makes it possible to obtain detailed information about the anisotropy of elastic waves in rocks, the elastic symmetry and texture of rocks, a sequence of deformation and tectonic nature of the conditions of their formation and transformation, etc.

**Key words:** petrophysics; anisotropy; tectonofacing analysis.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка