

Рис. 2. Графіки зміни густини струму в процесі поляризації

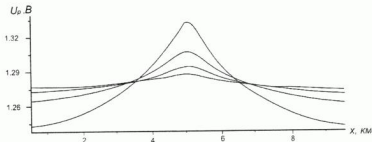


Рис. 3. Графіки зміни поляризаційного потенціалу в процесі поляризації

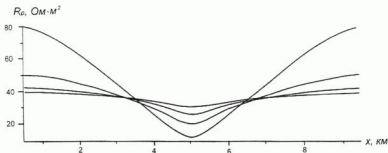


Рис. 4. Графіки зміни поляризаційного опору в процесі поляризації

В процесі виходу на стаціонарний режим графік його поступово вирівнюється.

Отже, замінивши в розрахунках параметрів катодного захисту величину перехідного опору протикорозійного покриття величиною долі пошкодження цього покриття, ми маємо можливість використати в розрахунках залежність між градієнтом потенціалу та струмом на межі метал-електроліт за поляризаційною кривою. Завдяки такій заміні в даній роботі промодельовано процес поляризації відрізка $[-L, L]$ магістрального трубопроводу. Зауважимо, що зображені на рис. 2 – 4 графіки лише ілюструють характер зміни густини струму, поляризаційного потенціалу та поляризаційного опору в процесі поляризації. Для відображення самого процесу поляризації необхідно провести дослідження залежності величини R_p від часу поляризації.

Зауважимо також, що в запропонованій математичній моделі небайдуже, яку поляризаційну криву використати в розрахунках. Характеристики сталі й електроліту, за якими вона побудована, повинні бути близькими до тих, в яких знаходиться дана ділянка траси магістрального трубопроводу.

1. Электрохимическая защита трубопроводов от коррозии / Остапенко В. Н., Ягупольская Л. Н., Луковин В. В. и др. – К.: Наукова думка, 1988. 2. Шевченко В. А. Фізико-хімічні властивості протекторного сплаву АЦМ та конструкційних сталей X70, S-3. / Дисертація канд. хім. наук. ЛПМ АН України. – К. – 1993.

УДК 550.834

Д. Безродний., асист.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕКТОНОФАЦІЙ МЕЗОЗОН НА ОСНОВІ АКУСТИЧНОГО АНАЛІЗУ МЕТАМОРФІЧНИХ ПОРІД КРИВБАСУ

Моделювання тектонофацій мезозони здійснено для моделей «залізистий кварцит», «сланець біотитовий» і «кварцит біотитовий» при якому досліджено акустичні і пружні властивості метаморфічних порід при кліважуванні.

Design of tectonic facies of the mesozone is carried out for the models «ferrous quartzite», «slate of biotitoviy» and «quartzite of biotitoviy», with the investigation of the acoustic and resilient properties of metamorphic breeds by cleavage.

Тектонофаціальна методологія базується на парагенетичній основі, враховує РТ-умови та реологічні властивості (характер деформації при тривалій дії напружень) середовищ, а також відповідні цим властивостям механізми дислокаційних перетворень порід [1]. При цьому використовується уявлення про *структурно-реологічні обстановки* – кататазону, мезозону та первинну й вторинну епізони. Подібні обстановки певною мірою співвідносяться з відомими петрологічними зонами Грубенманна. Але від останніх відрізняються тим, що при їх виділенні, в першу чергу, враховуються реологічні фактори. Мезозона – це крихко-пластична, а при великих деформаціях пластична та навіть своєрідне в'язке, середовище, у межах якого дислокаційні перетворення порід відбуваються за участю динамометаморфізму зеленосланцюватої фації [2], а в окремих випадках і в супроводі низько- та середньотемпературного метасоматозу.

За результатами тектонофаціального аналізу, що був виконаний О.І. Луїнком, Є.І. Паталагою та В.В. Гончаром [1; 2] встановлено, що в Кривбасі крім добре вивченої крихкої розривної тектоніки широко розвинена і в'язка розривна тектоніка, яка тісно пов'язана із зональним метаморфізмом, що утворений амфіболітовою, епідот-амфіболітовою та зеленосланцюватою фаціями, і яка відіграє найбільш суттєву роль у формуванні тектонічної структури об'єкту досліджень [1-3].

З метою з'ясування впливу тектонічних деформацій на анізотропію акустичних і пружних властивостей метаморфічних порід Кривбасу було проведено математичне моделювання ефективних пружних постійних прських порід із використанням багатокомпонентної моделі, яка була максимально наближена до будови реальних текстур метаморфічних порід, що зазнали неодноразових незворотних деформацій, техногенного впливу при бурінні свердловини і релаксації напруж при розвантаженні керна.

При інтерпретації даних експериментальних сейсмоакустичних досліджень основна задача полягає в реальному математичній оцінці вкладу кожного з цих факторів на ефективні акустичні і пружні властивості з подальшим застосуванням отриманих даних при вирішенні задач тектонофаціального аналізу.

Багатокомпонентна модель деформованої текстури прської породи представляє собою матричну модель (твердий скелет) із орієнтованими включеннями у вигляді сфероїдів різного формату $\alpha = \frac{c}{a}$ (тут c – коротка і довга осі сфероїду).

Кристаліграфічні осі сфероїдальних зерен породоутворюючих мінералів були орієнтовані вздовж осей сфероїду. Мікротріщини моделювалися сфероїдами формату $\alpha = 10^3 + 10^{-4}$. Це забезпечило можливість моделювання практично всіх типів текстур метаморфічних порід Кривбасу.

Для вирішення поставленої задачі застосовувався метод умовних моментних функцій із використанням розрахункової схеми Морі–Танакі. Для чисельних розрахунків алгебраїчних компонент тензора M_{ijkl} в ромбічному наближенні застосовувалося чисельне інтегрування методом Гауса [4].

З метою відтворення реологічних механізмів та оцінки впливу різних стадій метаморфізму (фактично умов тиску і температури – РТ-умов) на ефективні акустичні і пружні параметри метаморфічних порід КНГС (Криворізької надгірської свердловини) і її полігону проведено моделювання різномісцевих тектонофацій для умов мезозони (кліваж).

При моделюванні за основу були прийняті результати тектонофаціального вивчення структури Кривбасу [1], мікро- і макроскопічні дослідження зразків прських порід КНГС і її полігону, результати обробки електронно-мікроскопічних зображень шліфів та відповідні шкали тектонофацій, що розроблені для катазони, для мезо- і мікро ознаками, мезозони за характером кліважування порід [5].

В першу чергу враховувалися наступні ознаки тектонофацій:

- кут між великими площинами (ав) плоских зерен породоутворюючих мінералів та віссю а (лінійністю);
- відношення а:с зерен породоутворюючих мінералів та мікро- і мезовключень;
- товщина мікротріщин;
- відношення «розповсюджен-видовження» (а:с) мікро- і мезотіл при кліважуванні;
- розміри блоків, уламків, тектонокластів.

Для РТ-умов мезозони моделювання ефективних акустичних і пружних постійних метаморфічних порід КНГС було проведено для моделей «залізистий кварцит» (модель 1), «сланець біотитовий» (модель 2) і «кварцит біотитовий» (модель 3). Мінеральний склад сланцю біотитового модель 2: кварц – 25 %, біотит – 40 %, плагіоклаз – 35 % – зразок №5190, глибина відбору 1027 м; за результатами тектонофаціальних досліджень відповідає IX – X тектонофації мезозони. Модель 3 – кварцит біотитовий, мінеральний склад кварц – 88 %, біотит – 12 %, зразок №10421/4, глибина відбору 2362 м, тектонофації VIII – IX мезозони.

При дослідженнях було враховано, що кліважування відбувалося як одностовне в'язке сколювання у супроводі локалізованої вздовж площин сколювання переорієнтації порід [3]. При цьому кліваж імітувався слабо розпродіями тріщинами сфероїдального формату від $\alpha=0,7$ для тектонофації I мезозони до $\alpha=0,005$ для тектонофації X. Мікротріщини були орієнтовані довгою віссю вздовж осей x_2 . При цьому сфероїдальні зерна породоутворюючих мінералів: кварцу, біотиту, амфіболу і плагіоклазу були орієнтовані хаотично з рівномірним розподілом вздовж осей x_1 , x_2 і x_3 для тектонофацій I-IV. Для тектонофацій V – X, як і у випадку катазони, моделювання ефективних акустичних і пружних постійних метаморфічних порід КНГС було проведено з урахуванням факту збільшення однонаправленої оріє-

нтації зерен породотворюючих мінералів вздовж осі x_3 від 40 % для тектонофації V до 90 % для тектонофації X. Формат одноорієнтованих зерен породотворюючих мінералів для обраних моделей 1, 2, 3 змінювався від $\alpha=0,7$ для нижчих тектонофацій до $\alpha=0,03$ для тектонофації IX – X. Концентрація мікротріщин ζ за результатами тектонофаційних, петрографічних і електронно-мікроскопічних досліджень змінювалася від 4 %, для тектонофації I мезозони до 2 % для VIII тектонофації і складала 1 % для найвищої тектонофації X мезозони.

Результати математичного моделювання тектонофацій мезозони для моделі «залізистий кварцит» наведено у таблиці 1. Акустична і пружна симетрія текстури цієї моделі ромбічна аксіальна ($\mu_{11} < \mu_{22} < \mu_{33}; C_{11} < C_{22} < C_{33}; C_{44} > C_{55} > C_{66}$) для тектонофацій I – VII, та ромбічна планальна ($\mu_{11} < \mu_{22} > \mu_{33}; C_{11} < C_{22} > C_{33}; C_{44} > C_{55} < C_{66}$) для тектонофацій VIII – X. Коефіцієнт акустичної анізотропії A_0 спершу зростає для тектонофацій I – VII від 7,6 % до 4,7 %, а для висококальних тектонофацій VIII – X неухильно зростає і досягає величини майже 18 %. Значення цього параметру майже удвічі менше відповідного значення для цієї ж моделі в умовах катазони (32,6 %-тектонофація X катазони).

Параметри пружної анізотропії для моделі «залізистий кварцит» відповідно для тектонофацій I, V, VIII і X мезозони були представлені у вигляді стереопроєкції ізоліній аказівних поверхонь розглянутих вище пружних параметрів анізотропії.

Швидкість квазіповздожної хвилі зменшується від максимального значення 6,55 км/с для тектонофації V до 4,6 км/с для тектонофації X мезозони. Зі збільшенням рівня тектонофацій області максимальних значень квазіповздожної швидкості розташовуються в полярних областях, а зона мінімуму концентрується в центральній частині площини $x_1 x_2$. Для тектонофації X фазова швидкість квазіповздожної хвилі не залежить від азимутального кута.

Таблиця 1. Результати математичного моделювання тектонофацій мезозони для моделі «залізистий кварцит»

Пружні і акустичні параметри	Пружні постійні для моделей різних рівнів тектонофацій. [ГПа]						
	1 рівень	3 рівень	5 рівень	7 рівень	8 рівень	9 рівень	10 рівень
C_{11}	117,75	116,78	111,09	110,64	111,47	109,86	128,81
C_{22}	124,91	123,40	117,56	116,65	118,06	118,47	132,46
C_{33}	146,99	145,63	134,96	125,57	100,52	67,23	69,09
C_{44}	61,79	62,48	57,70	55,35	49,54	38,66	38,30
C_{55}	56,06	56,75	52,21	49,85	44,87	35,57	36,34
C_{66}	47,37	47,91	45,32	45,09	45,96	45,58	50,34
C_{12}	26,73	25,63	21,54	18,64	18,64	18,97	26,72
C_{13}	34,13	33,30	28,25	24,24	16,54	6,67	6,03
C_{23}	33,25	32,38	27,13	23,08	15,47	5,59	1,26
μ_{11}	70,90	70,69	66,32	65,08	63,76	59,96	63,31
μ_{22}	75,03	74,62	70,12	68,72	67,31	63,64	64,95
μ_{33}	84,90	84,55	77,83	73,06	61,44	61,64	42,22
A_0	7,61	7,59	6,69	4,72	3,76	14,72	17,92
S_{11}	1,06	1,06	1,06	1,06	1,04	1,04	1,50
L_{11}	1,13	1,12	1,11	1,06	1,06	1,06	1,03

Різниця між «швидкою» і «повільною» квазіпоперечними хвилями змінюється не так істотно, як для відповідних тектонофацій катазони, і складає 0,35 км/с для тектонофації V та 0,62 км/с для найвищої тектонофації X. Явище розщеплення хвиль адвенті менше, ніж для відповідних тектонофацій катазони. Для вищих тектонофацій існують напрямки, де розщеплення хвиль відсутнє.

Коефіцієнт диференціальної пружної анізотропії складає для моделі залізистого кварциту близько 6,5 % для V тектонофації і набуває свого максимуму 15,5 % для тектонофації X мезозони. Кількість екстремумів для цього параметру пружної анізотропії зменшується від одного вираженого мінімуму для вищих тектонофацій IX – X. Подібна ситуація повторюється і стереопроєкція аказівної поверхні кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі. Величина кута відхилення збільшується з ростом рівня тектонофацій і спостерігається локалізація мінімального екстремуму в центральній частині площини.

Моделювання ефективних акустичних і пружних постійних, а також параметрів анізотропії об'ємних пружних хвиль для моделі сланцю біотитового в РТ-умовах мезозони дало наступні результати:

- акустична і пружна симетрія текстури моделі планальна ромбічна для всіх тектонофацій мезозони ($\mu_{11} < \mu_{22} > \mu_{33}; C_{11} < C_{22} > C_{33}; C_{44} > C_{55} < C_{66}$) (рис. 1);
- коефіцієнт інтегральної акустичної анізотропії A_0 збільшується удвічі, від 19,3 % для тектонофації V до 38,7 % для тектонофації X;
- поведінка параметрів акустичної анізотропії L_{ij} і S_{ij} підтверджує виражений планальний характер текстури моделі і зростаюче значення коефіцієнту інтегральної акустичної анізотропії A_0 ;
- швидкість квазіповздожної хвилі зменшується від 6,8 км/с для тектонофації V до 6,5 км/с для тектонофації X з одним вираженим мінімумом для найбільш висококальних тектонофацій IX – X;
- максимальне значення різниці між «швидкою» і «повільною» модами квазіпоперечних хвиль становить близько 1,6 км/с для тектонофації V і набуває свого максимального значення 2,15 км/с для найвищих тектонофацій. Про-

цеси розщеплення хвиль інтенсивні, що підтверджує високу анізотропність моделі породи. Кількість екстремумів для цього параметру пружної анізотропії зменшується від 8 для середньобальних тектонофацій до 5 екстремальних точок (мінімумів) та зростає в області їх розташування. Мінімумам відповідають значення від 0,25 км/с до 0,6 км/с, де ефект розщеплення хвиль поперечної поляризації найменший;

- коефіцієнт диференціальної пружної анізотропії змінюється від 25 % для тектонофацій I-V до 34 % для найвищої тектонофації X, що добре узгоджується зі значеннями інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії. Мінімум цього параметру становить 1,5 % для тектонофацій IX – X і, як і в деяких попередніх випадках свідчить, що в даному напрямку пружні властивості середовища мало відрізняються від найближчого до нього ізотропного середовища;

- факт зростання рівня анізотропії моделі „сланець біотитовий” зі збільшенням рівня тектонофацій мезозони підтверджують і стереопроєкції ізоліній вказівних поверхонь кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі. Його величина змінюється в значних межах: від 20° для середніх тектонофацій до 55° для найбільш високобальних тектонофацій IX – X.

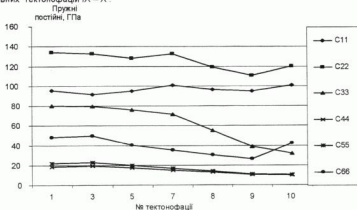


Рис. 1 Аналіз пружних постійних для моделі «біотитовий сланець» (мезозона)

Проведено також розрахунки ефективних акустичних і пружних постійних та параметрів пружної анізотропії для моделі „кварцит біотитовий” в умовах різнобальних тектонофацій мезозони. Вони дають можливість зробити наступні висновки:

- акустична і пружна симетрія моделі „кварцит біотитовий” планальна поперечно-ізотропна ($\mu_{11} \approx \mu_{22} < \mu_{33}; C_{11} \approx C_{22} < C_{33}; C_{44} = C_{55} < C_{66}$) для тектонофацій I – VII та ($\mu_{11} = \mu_{22} > \mu_{33}; C_{11} = C_{22} > C_{33}; C_{44} = C_{55} < C_{66}$) для найбільш високобальних тектонофацій VIII – X. Про це свідчить той факт, що точки діаграми акустичного еліпсоїду лягають майже всі на вісь абсцис і їх відстань тим більша від початку координат, чим вищою рівню тектонофаціальних перетворень вони зазнали;

- величина інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії A_0 спочатку зменшується до 0,6 % (тектонофація V), а потім швидко зростає до величини 22,6 %;

- максимальне значення швидкості квазіповздовжної хвилі в умовах тектонофації V – 6,4 км/с і зменшується до величини 5,6 км/с для тектонофації X мезозони. Як і у випадку моделей „залізистий кварцит” і „сланець біотитовий” спостерігається зменшення екстремумів на стереопроєкціях ізоліній вказівних поверхонь з трьох до одного вираженого мінімуму в центральній частині площини, де швидкість квазіповздовжної хвилі складає менше 4 км/с;

- максимальна величина різниці між швидкостями „швидкої” і „повільної” поперечних хвиль зростає від 0,3 км/с в умовах тектонофації V до 0,6 км/с (VIII) і набуває свого максимального значення 1,05 км/с у найвищій тектонофації X мезозони, де явище розщеплення хвиль найбільш інтенсивне. На всіх стереопроєкціях можна виділити ділянки, де величина цього параметру пружної анізотропії близька до нуля (рис. 2, а-г);

- екстремальні значення коефіцієнту диференціальної пружної анізотропії змінюються від майже 4 % для тектонофації V, до 10 % для тектонофації VIII і досягають максимуму близько 24 % у тектонофації X мезозони. Кількість екстремумів зменшується від 7 у тектонофації V до одного мінімуму, який локалізується в центральній частині площини x_1, x_2 . Мінімальне його значення тут становить близько 0,5 % і цей напрямок співпадає з одонаправленою орієнтацією зерен породотворюючих мінералів. В межах цього мінімуму пружні властивості біотитового кварциту мало відрізняються від ізотропного середовища;

- на стереопроєкціях ізоліній вказівних поверхонь кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі моделі показано, що його величина змінюється від 5,5° для V тектонофації мезозони до 27° для тектонофації X, а кількість екстремальних точок навпаки зменшується від 7 (тектонофація VII) до одного мінімуму (тектонофація X) зі значенням кута відхилення близько 0°. Цей мінімум просторово співпадає з мінімумом коефіцієнту диференціальної пружної анізотропії.

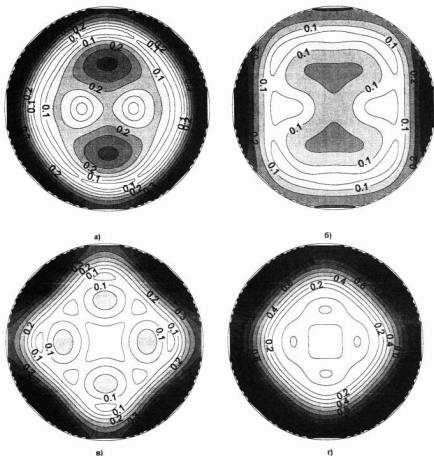


Рис. 2 Стереопроєкції ізоліній вказаних поверхень різниці «швидкої» та «повільної» швидкостей квазіпоперечних хвиль моделі «кварцит біотитовий» при моделюванні тектонофацій мезозони а) – тектонофація I, б) – тектонофація V, в) – тектонофація VIII, г) – тектонофація X

Встановлено, що з ростом рівня дислокаційних перетворень акустична і пружна анізотропія моделей «залізистий кварцит», «сланець біотитовий» і «біотитовий кварцит» різко збільшуватиметься, проте значення цих параметрів для моделі «залізистий кварцит» майже удвічі менше за відповідні показники в умовах катазони. Для найвищих тектонофацій IX – X мезозони встановлено, що в напрямку, який співпадає з орієнтацією односторонніх зерен породоутворюючих мінералів і мікритрицій, явище розщеплення поперечних хвиль відсутнє, величина диференціального коефіцієнту пружної анізотропії дорівнює нулеві, а найбільше розщеплення поперечних хвиль спостерігається у площині, яка перпендикулярна напрямку переважної орієнтації останніх. Для найбільш висококалькових тектонофацій VIII – X можна виділити окремі напрямки, де поведінка розповсюдження пружних хвиль в анізотропному середовищі нічим не відрізняється від найближчого до нього ізотропного середовища.

1. Паталяха Е.И., Дербенев В.А., Луценко А.И. Опыт изучения упругой анизотропии как критерия оценки степени реформированности пород. // Докл. АН СССР. 1981. Т. 260, №3, стр. 698-701. 2. Паталяха Е.И., Луценко А.И., Голыар В.В. Тектонофаційні потоки як основа розуміння геологічних структур. – К., 1995. 3. Луценко О.І. Тектонофаційна структура Кривбасу // Вісн. Київ. ун-ту, Сер. Геологія. – 1998. – Вип. 17. – С. 8-13. 4. Прокопюк Г.Г. Проблеми сейсмоакустичної анізотропії геологічних серед. // Віст. Київск. ун-та, Геологія, 1991, № 17, с.117-128. 5. Луценко О.І., Дербенев В.В. Різноманітні типи дислокаційної тектоніки Українського щита на Середньому Півночі (за результатами тектонофаційних досліджень) // Вісн. Київ. ун-ту, Сер. Геологія. – 2002. – Вип. 21-22. – С. 102-106.