

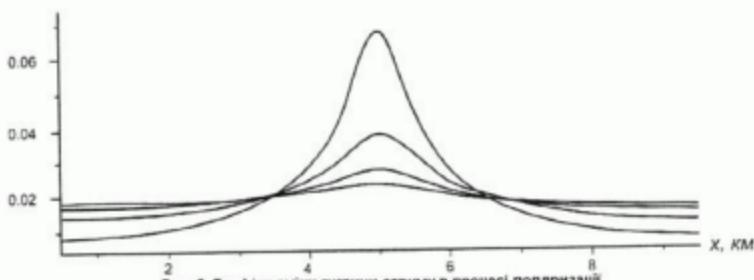
$J, A/m^2$ 

Рис. 2. Графіки зміни густини струму в процесі поляризації

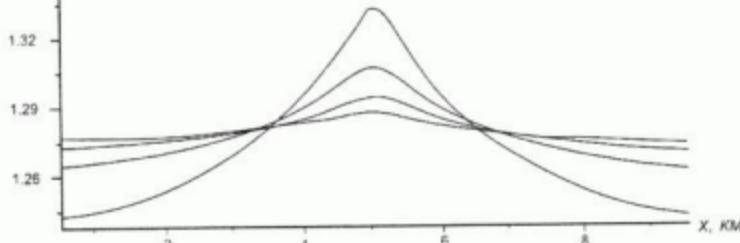
 U_p, B 

Рис. 3. Графіки зміни поляризаційного потенціалу в процесі поляризації

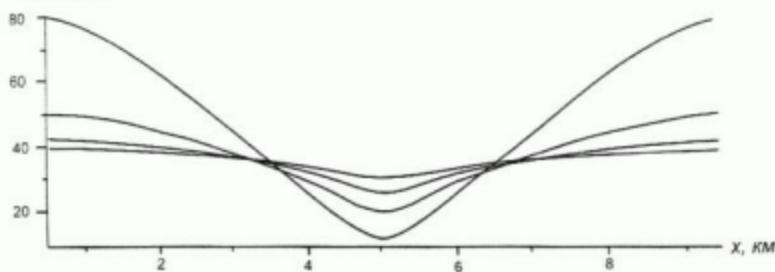
 $R_p, \Omega \cdot m^2$ 

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 промodelьовано 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 ділянка траси магістрального трубопроводу.

1. Електрохімічна захист трубопроводів від корозії / Остапенко В. Н., Ягупольська Л. Н., Луковіч В. В. і др. – К.: Наукова думка, 1988. 2. Шеци В. А. Фізико-хімічні властивості протекторного сплаву АЦФМ та конструкційних сталей Х70. С-3. Дисертація канд. хім. наук. ЛПМ АН України. – К. – 1993.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕКТОНОФАЦІЙ МЕЗОЗОНИ НА ОСНОВІ АКУСТИЧНОГО АНАЛІЗУ МЕТАМОРФІЧНИХ ПОРІД КРИВБАСУ

Моделювання тектонофаций 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 mezozone 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.

Тектонофациальна методологія базується на парагенетичній основі, враховує РТ - умови та реологічні властивості (характер деформації при тривалій дії напруження) середовищ, а також відповідні цим властивостям механізми дислокаційних перетворень порід [1]. При цьому використовується уявлення про структурно-реологічні обстановки – кататазону, мезозону та первинну і 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-пластичне, а при великих деформаціях пластичне та навіть своєрідне в'язке, середовище, у межах якого дислокаційні перетворення порід відбуваються за участю динамометаморфізму зеленоіланцієвої фазії [2], а в окремих випадках і в супроводі низько- та середньотемпературного метаморфізму.

За результатами тектонофациального аналізу, що був виконаний О.І. Лукінським, С.І. Паталахою та В.В. Гончаром [1; 2] встановлено, що в Кривбасі крім добре вивчені крижкої розривної тектоніки широко розвинена і в'язка розривна тектоніка, яка тісно пов'язана із зональним метаморфізмом, що утворений амфіболітовою, епідот-амфіболітовою та зеленоіланцієвою фазіями, і яка відіграє найбільшу суттєву роль у формуванні тектонічної структури об'єкту дослідження [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 гірських порід із використанням багатокомпонентної моделі, яка була максимально наближена до будови реальних текстур метаморфічних порід, що зазнали неодноразових незворотних деформацій, технологічного впливу при бурінні свердловини і релаксації напруї при розривтанні керна.

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

Багатокомпонентна модель деформованої текстури прської породи представляє собою матричну модель (твірний скелет) із орієнтованими включеннями у вигляді сфероїдів різного формату $\alpha = \frac{c}{a}$ (тут c – коротка і довга осі сфероїду). Кристалографічні 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 вирішенння поставленої задачі застосовувався метод умовних моментних функцій із використанням розрахункової схеми Морі-Танака. Для чисельних розрахунків алгебрачними компонентами тензора M_{ijkl} в ромбічному наближенні застосовувалося чисельне інтегрування методом Гаусса [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 надглибокої свердловини) ІІ полігону проведено моделювання розривнівих тектонофаций для умов мезозони (кліважів).

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

В першу чергу враховувалися наступні ознаки тектонофаций:

- кут між великими площинами (ав) плоских зерен породоутворюючих мінералів та віссю а (лінійності);
- відношення а:с зерен породоутворюючих мінералів та мікро- і мізозовключень;
- товщина мікролітонів;
- відношення «розрізлення-видовження» (а:с) мікро- і мезотіл при кліважуванні;
- розміри блочків, 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 моделювання 2: кварц – 25 %, біотит – 40 %, плагіоклаз – 35 % – зразок №5190, глибина відбору 1027 м; за результатами тектонофациальних досліджень відповідає IX – Х тектонофациї мезозону. Модель 3 – кварцит біотитовий, мінеральний склад кварц – 88 %, біотит – 12 %, зразок №10421/4, глибина відбору 2362 м, тектонофакція VIII – IX мезозони.

При дослідженнях було враховано, що кліважування відбувається як односистемне в'язке сколювання у супроводі локалізованої вздовж площин сковзання перекристалізації порід [3]. При цьому кліваж імітується слабо розрізаними тріщинами сфероїдального формату від 0,7 до 0,7 для тектонофациї I мезозону до $\alpha = 0,005$ для тектонофациї X. Мікротріщини були орієнтовані довгим віссю вздовж осі x_3 , 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 тектонофаций I-IV. Для тектонофаций V – X, як і у випадку катазони, моделювання ефективних акустичних і пружних постійних метаморфічних порід КНГС було проведено з урахуванням факту збільшення однонаправленої орієнтації

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

Результати математичного моделювання тектонофаций мезозони для моделі „залиштий кварціт” наведено у таблиці 1. Акустична і пружна симетрія текстури цієї моделі ромбічна планальна ($\mu_{11}^* < \mu_{22}^* < \mu_{33}^*; C_{11}^* < C_{22}^* < C_{33}^*; C_{44}^* > C_{55}^* > C_{66}^*$) для тектонофаций I – VII, та ромбічна планальна ($\mu_{11}^* < \mu_{22}^* > \mu_{33}^*; C_{11}^* < C_{22}^* < C_{33}^*; C_{44}^* > C_{55}^* < C_{66}^*$) для тектонофаций VIII – X. Коефіцієнт акустичної анізотропії A_μ спершу спадає для тектонофаций I – VII від 7,8 % до 4,7 %, а для високобальних тектонофаций VIII – X неухильно зростає і досягає величини майже 18 %. Значення цього параметру майже удвічі менше відповідного значення для цієї ж моделі в умовах катазоні (32,6 % – тектонофакту X катазоні).

Параметри пружкої анізотропії для моделі „залиштий кварціт” відповідно для тектонофаций I, V, VIII і X мезозони були представлені у вигляді стереопроекції ізоліній вказівних поверхонь розглянутих вище пружних параметрів анізотропії.

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

Таблиця 1. Результати математичного моделювання тектонофактій мезозони для моделі „залиштий кварціт”

Пружні і акустичні параметри	Пружні постійні для моделей різних рівнів тектонофактій, [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	18,84	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	73,08	61,44	61,64	42,22
A_μ	7,61	7,59	6,89	4,72	3,76	14,72	17,92
S_μ	1,06	1,06	1,06	1,06	1,04	1,04	1,50
L_μ	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 тектонофактій катазоні, і складає 0,35 км/с для тектонофакту V та 0,62 км/с для найвищої тектонофакту X. Явище розщеплення хвилі вдвічі менше, ніж для відповідних тектонофактій катазоні. Для вищих тектонофактій існують на-прямки, де розщеплення хвилі відсутнє.

Коефіцієнт диференціальної пружності анізотропії складає для моделі залишистого кварціту близько 6,5 % для V тектонофактії і набуває свого максимуму 15,5 % для тектонофакту X мезозони. Кількість екстремумів для цього параметру пружкої анізотропії змінюється до одного вираженого мінімуму для вищих тектонофактій IX – X. Подібна ситуація повторюється і стереопроекція вказівної поверхні кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі. Величина кута відхилення збільшується зростанням рівня тектонофактій 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 сланців біотитових мезозонів дали наступні результати:

- акустична і пружна симетрія текстури моделі планальна ромбічна для всіх тектонофактій 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_μ збільшується удвічі, від 19,3 % для тектонофакту V до 38,7 % для тектонофакту X;
- поведінка параметрів акустичної анізотропії L_μ і S_μ підтверджує виражений планальний характер текстури моделі і зростаюче значення коефіцієнту інтегральної акустичної анізотропії A_μ ;
- швидкість квазіповздовжної хвилі зменшується від 6,8 км/с для тектонофакту V до 6,5 км/с для тектонофакту X з однім вираженим мінімумом для найбільш високобальних тектонофактій IX – X;
- максимальне значення різниці між „швидкою” і „повільною” модами квазіпоперечних хвиль становить близько 1,6 км/с для тектонофакту V і набуває свого максимального значення 2,15 км/с для найвищих тектонофактій. Про-

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

- коєфіцієнт диференціальній пружності анізотропії змінюється від 25 % для тектонофаций I–V до 34 % для найвищої тектонофациї X, що добре узгоджується зі значеннями інтегрального коєфіцієнту акустичної анізотропії. Мінімум цього параметру становить 1,5 % для тектонофаций IX – X i, 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 тектонофаций мезозони підтверджують і стереопроекції ізольній вказівних поверхонь кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі. Його величина змінюється в значних межах: від 20° для середніх тектонофаций до 55° для найбільш високобальних тектонофаций IX – X.

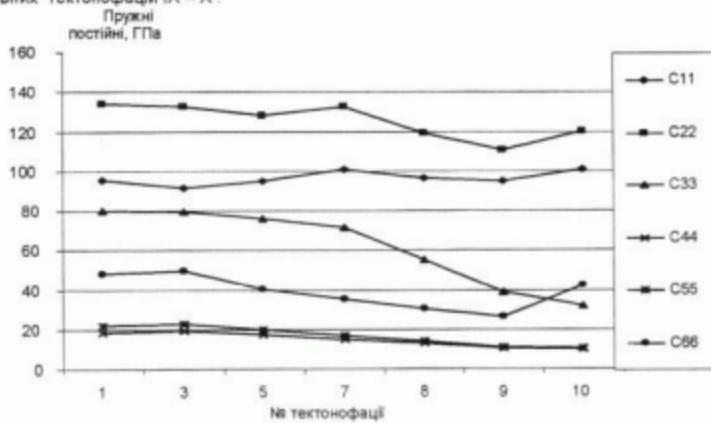


Рис. 1 Аналіз пружних постійних для моделі «біотитовий сланець» (мезозона)

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

- акустична і пружка симетрія моделі „кварцит біотитовий” планальна поперечно-ізотропна ($\mu_{11}^* = \mu_{22}^* < \mu_{33}^*; C_{11}^* \approx C_{22}^* < C_{33}^*; C_{44}^* = C_{55}^* > C_{66}^*$) для тектонофаций I – VII та ($\mu_{11}^* = \mu_{22}^* > \mu_{33}^*; C_{11}^* \approx C_{22}^* > C_{33}^*; C_{44}^* = C_{55}^* < C_{66}^*$) для найбільш високобальних тектонофаций VIII – X. Про це свідчить той факт, що точки діаграми акустичного еліпса лягуть майже всі на вісі абсцис і їх відстань тим більша від початку координат, чим вищої рівні тектонофакціальних перетворень вони зазнали;

- величина інтегрального коєфіцієнту акустичної анізотропії A_v спочатку зменшується до 0,6 % (тектонофакція V), а потім швидко зростає до величини 22,6 %;

- максимальне значення швидкості квазіповзувальної хвилі в умовах тектонофакції X мезозони. Як і у випадку моделей „запізистий кварцит” і „сланець біотитовий” спостерігається зменшення екстремумів на стереопроекціях ізольній вказівних поверхонь з трьох до одного вираженого мінімуму в центральній частині площини, де швидкість квазіповзувальної хвилі складає менше 4 км/с;

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

- екстремальні значення коєфіцієнту диференціальної пружності анізотропії змінюються від майже 4 % для тектонофакції V, до 10 % для тектонофакції VIII і досягають максимуму близько 24 % у тектонофакції X мезозони. Кількість екстремумів зменшується від 7 у тектонофакції 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 однонаправленою орієнтацією зерен породоутворюючих мінералів. В межах цього мінімуму пружні властивості біотитового кварциту мало відрізняються від ізотропного середовища;

- на стереопроекціях ізольній вказівних поверхонь кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі моделі показано, що його величина змінюється від $5,5^{\circ}$ для V тектонофакції мезозони до 27° для тектонофакції X, а кількість екстремальних точок навпаки зменшується від 7 (тектонофакції VII) до одного мінімуму (тектонофакції X) зі значенням кута відхилення близько 0° . Цей мінімум просторово співпадає з мінімумом коєфіцієнту диференціальної пружності анізотропії.

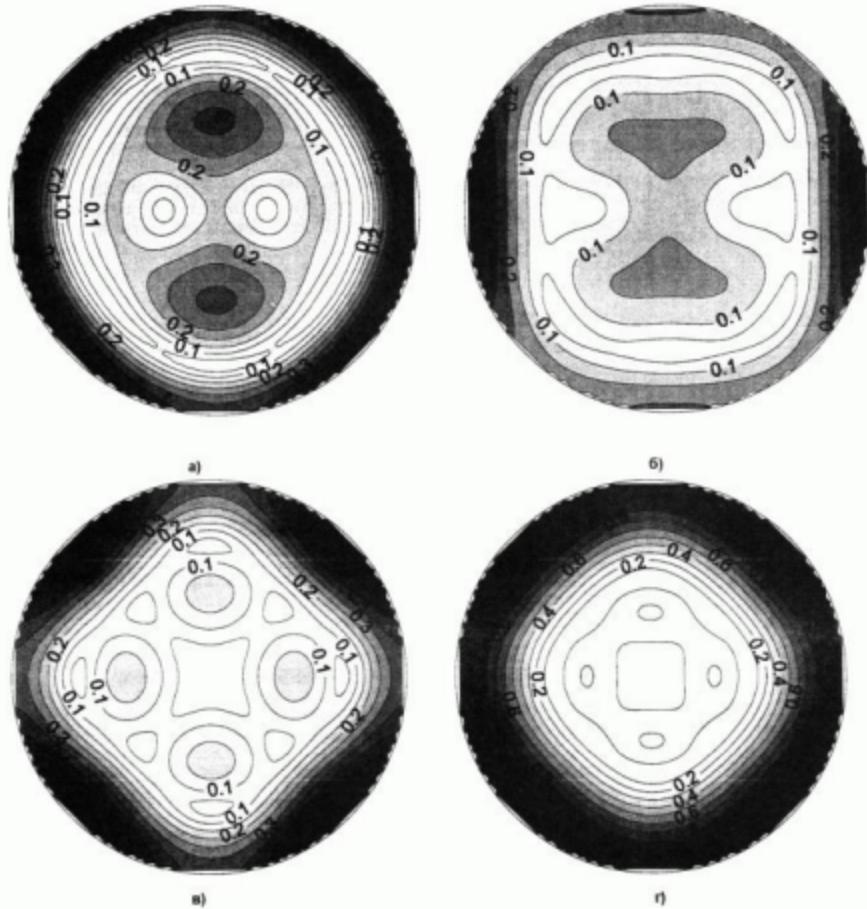


Рис. 2 Стереопроекції ізоліній відмінних поверхонь різниці «швидкої» та «повільної» швидкостей квазіпоперечних хвиль моделі «кварц біотитовий» при моделюванні тектонофазій мезозони а) – тектенофазія I, б) – тектенофазія V, в) – тектенофазія VIII , г) – тектенофазія X

Встановлено, що зростом рівня дислокаційних перетворень акустична і пружна анізотропія моделей «квалізістий кварціт», «сланець біотитовий» і «біотитовий кварціт» різко збільшується, проте значення цих параметрів для моделі «квалізістий кварціт» майже удвічі менше за відповідні показники в умовах катазони. Для найвищих тектенофазій IX – X мезозон встановлено, що в наприміку, який співпадає з орієнтацією однонаправлених зерен породоутврюючих мінералів і мікротріщин, явище розщеплення поперечних хвиль відсутнє, величина диференціального коефіцієнту пружної анізотропії дорівнює нульові, а найбільше розщеплення поперечник хвиль спостерігається у площині, яка перпендикулярна напрямку переважної орієнтації останніх. Для найбільш високобалльних тектенофазій VIII – X можна виділити окремі напрямки, де поведінка розлозовюдження пружних хвиль в анизотропному середовищі нічим не відрізняється від найближчого до нього ізотропного середовища.

1. Латалака Е.И., Дербенев В.А., Лукинко А.И. Споси зуточнення упрутої анізотропії як критерія оцінки ступеня реформированності пород. // Докл. АН ССРР. 1981. Т.260, №3, стр. 698-701. 2. Латалака Е.И., Лукинко А.И., Гончар В.В. Тектонические потоки як основа понимания геологических структур. – К., 1995. 3. Лукинко О.І. Тектенофазова структура Кривбасу // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 1998. – Вип. 17. – С. 8-13. 4. Грабовський Г.Г. Проблемы сейсмометризации анизотропных геологических сред // Вест. Київськ. ун-ту. Геологія. 1991, N 17, с.117-128. 5.Лукинко О.І., Кравченко Д.В. Регологічні типи дислокаційної тектоніки Українського щита на Середньому Побужжі (за результатами тектенофазальних досліджень) // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2002. – Вип. 21-22. – С. 102-106.