

УДК 550.834

Д. Безродний, асист., І. Безродна, канд. геол. наук

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ КРИСТАЛОГРАФІЧНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ
МІНЕРАЛІВ І МІКРОТРИЩИН НА ПАРАМЕТРИ ПРУЖНОЇ І АКУСТИЧНОЇ АНІЗОТРОПІЇ НА
ПРИКЛАДІ МЕТАМОРФІЧНИХ ПОРІД КРИВОРІЗЖА**

Здійснено моделювання вкладки орієнтації мікротріщин і породоутворюючих мінералів для моделей «амфіболіт» і «біотитовий сланець». Досліджено їх акустичні і пружні властивості з врахуванням анізотропії.

The design of orientation of microcracks and rockforming minerals is carried out for the models of «amfibolite» and «biotitoviy slaneць». Their acoustic and resilient properties are investigated taking into account the anisotropy.

Вступ. Дослідження анізотропії пружних хвиль гірських порід – джерело цінної інформації про геодинамічні умови їх формування і представляє інтерес до з'ясування акустичної анізотропії земних надр. Анізотропія сейсмічних хвиль свідчить про наявність в геологічному середовищі упорядкованостей різноманітної фізичної природи. Типи упорядкованостей визначаються механізмом деформації геологічного середовища.

Стан проблеми. Теорія пружної анізотропії представлена в наукових працях А. Лява, В. Фойгта, Ф.І. Федорова, Г.І. Петрашеня, К.С. Александрова, Г.Т. Продайводи та інших. Проте експериментальні дослідження анізотропії пружних постійних гірських порід досить обмежені.

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

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

Результати. Анізотропія акустичних і пружних властивостей метаморфічних порід КНГС та її полігону обумовлена різноманітними факторами [1], а саме:

- кристалографічною орієнтацією та формою зерен мінералів;
 - формою, концентрацією та орієнтацією мікротріщин;
 - тонкою шаруватістю;
 - напруженім станом або реологічними умовами, в яких відбувалося формування і перетворення гірських порід.
- Багатокомпонентна математична модель [2] гірської породи представляє собою матричну модель, де твердий скелет армований орієнтованими вclusions у вигляді сфероїдів обертання різного формату $\alpha = \frac{c}{a}$ (де c – a –

коротка і довга осі сфероїду). Кристалографічні осі сфероїдальних зерен породоутворюючих мінералів і мікротріщин були орієнтовані вздовж осей сфероїду.

При розв'язку задачі математичного моделювання впливу орієнтації мінералів і мікротріщин на пружні і акустичні властивості порід застосовувався метод умовних моментних функцій із використанням розрахункової схеми Морі-Танка [2]. Для чисельних розрахунків компонент акустичного тензора в ромбічному наближенні застосовувалося чисельне інтегрування методом Гауса.

Враховуючи результати петрографічного дослідження шліфів та аналізу їх змінлив під електронним поляризаційним мікроскопом метаморфічних порід КНГС та її полігону, проведено математичне моделювання ефективних акустичних і пружних постійних та параметрів пружної анізотропії.

Вплив кристалографічної орієнтації мінералів і мікротріщин на ефективні акустичні і пружні постійні метаморфічних порід КНГС та її полігону розглянуто на полімінеральних моделях «амфіболіт» і «біотитовий сланець». За основу було прийнято мінеральний склад реальних типових зразків з основного стовпу КНГС: амфіболіту № 16572 (26) з глибини 3772 м та біотитового сланцю № 5192 з глибини 1035 м.

Мінеральний склад моделей:

- модель 1 (амфіболіт): амфібол – 72 %, кварц – 18 %, плагіоклаз – 9 %;
 - модель 2 (сланець біотитовий): біотит – 40 %, плагіоклаз – 33 %, кварц – 26 %.
- Матриці обох моделей армувалися мікротріщинами, що як і основні породоутворюючі мінерали на першому етапі були рівномірно орієнтовані паралельно осям x_1 , x_2 , x_3 . Формат мікротріщин заданий як $\alpha = 0,3$, а біотиту – $\alpha = 0,1$, що відповідає середньому формату зерен зазначених мінералів [1].

Поступово концентрація орієнтованих зерен мінералів і мікротріщин вздовж осей x_1 , x_2 зменшувалася з одночасним збільшенням її по осі x_3 . В кінцевому варіанті розглядалася одностороння орієнтація мінералів: в моделі амфіболіт – орієнтація кристалографічних осей с кварцу і плагіоклазу, в моделі сланець біотитовий кристалографічна ось с кварцу і біотиту, а також орієнтація мікротріщин паралельна x_3 .

При розрахунках ефективних акустичних і пружних постійних моделей метаморфічних порід КНГС були прийняті Відомі пружні постійні (ГПа) та густини породоутворюючих мінералів.

За отриманими результатами математичного моделювання впливу орієнтації мінералів і мікротріщин на ефективні акустичні і пружні властивості для моделі «амфіболіт» (табл. 1) акустична і пружна симетрія текстури моделі амфіболіту планальна ромбічна ($\mu^*_{11} < \mu^*_{22} > \mu^*_{33}$; $C^*_{11} < C^*_{22} > C^*_{33}$; $C^*_{44} > C^*_{55} < C^*_{66}$).

Таблиця 1. Результати математичного моделювання впливу орієнтації мінералів і мікротріщин на ефективні акустичні і пружні властивості для моделі «амфіболіт»

Пружні параметри	Пружні постійні моделі (при зміні концентрації мінералів і мікротріщин по осі x_3)						
	33 %	45 %	60 %	70 %	80 %	90 %	95 %
C_{11}	50,90	54,77	64,61	72,05	80,62	90,87	97,35
C_{22}	52,24	58,07	68,63	78,12	90,98	109,46	123,09
C_{33}	37,09	33,53	28,59	26,13	24,14	22,54	21,85
C_{44}	13,24	12,95	12,42	12,08	11,75	11,44	11,29
C_{55}	14,15	13,62	13,03	12,65	12,29	11,95	11,79
C_{66}	21,30	24,59	30,35	34,64	39,40	44,70	47,75
C_{12}	0,23	0,81	0,19	0,33	0,49	2,73	9,94
C_{13}	0,96	0,55	0,72	0,06	0,77	0,92	0,14
C_{23}	0,79	0,73	0,76	0,02	0,55	0,47	0,15
A_{11}	31,67	34,10	39,59	43,76	48,51	54,09	57,52
A_{22}	31,82	35,06	40,85	45,78	52,11	60,72	66,78
A_{33}	23,85	22,04	19,81	18,65	17,67	16,84	16,48
A_{44}	13,03	19,13	27,70	32,38	36,50	40,29	42,23
L_{12}	1,01	1,03	1,03	1,05	1,07	1,12	1,16
S_{11}	1,34	1,55	1,99	2,35	2,75	3,21	3,39

Величина інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії (A_{ij}) змінюється від 3,23 % при рівномірному розподілі орієнтованих включень (зерен мінералів і мікротріщин) мінералів вздовж кристалографічних осей x_1 , x_2 , x_3 до 40,92 % при однонаправленій орієнтації останніх паралельно осі x_3 мікротріщин. Збільшення величини A_{ij} при зростанні однонаправленості орієнтації підкреслюють і параметри акустичної анізотропії, зокрема L_{12} і S_{11} , точки яких віддаються від початку координат зі збільшенням однонаправленості орієнтації мінералів і мікротріщин.

Зі зростанням однонаправленості орієнтації інтенсивно збільшуються ефективні пружні постійні C^{*11} , C^{*22} та C^{*66} , в той час як C^{*33} зменшується при 100 % кристалографічної однонаправленості більше, ніж удвічі, а ефективні пружні постійні C^{*44} та C^{*55} залишаються майже без змін (рис. 1).

Зі зміною ефективних пружних постійних моделі «амфіболіт» істотно змінюються і параметри пружної анізотропії, що ілюструється на рисунках 1, а-е, де представлені стереопроєкції ізольованих вказаних поверхонь параметрів анізотропії різниці між «швидкою» і «повільною» квазіпоперечними хвилями та коефіцієнту диференціального пружної анізотропії для різних випадків однонаправленості кристалографічної орієнтації мінералів. Однонаправлена орієнтація кристалографічних осей x кварцу і плапоклазу вздовж осі x_3 призводить до суттєвого зростання як різниці між «швидкою» (V_{s1}) і «повільною» (V_{s2}) модами фазової поперечної швидкості, так і коефіцієнта диференціального пружної анізотропії. Величина різниці $\Delta V_{s1} = V_{s1} - V_{s2}$ зростає від 0,55 км/с до 1,6 км/с (рис. 1, а, д), а коефіцієнту анізотропії від 19 до 42 %. При збільшенні однонаправленості орієнтації вздовж осі x_3 кореляція між інтегральним коефіцієнтом акустичної анізотропії і диференціальним коефіцієнтом пружної анізотропії істотно зростає (рис. 1, б, г, е).

Кількість екстремумів і їх розташування на стереопроєкціях змінюється також досить істотно при збільшенні однонаправленості орієнтації включень. Так для параметру ΔV_{s1} кількість екстремумів зменшується від 13 до 7, а майже рівномірне розміщення екстремумів в площині x_1x_2 змінюється вузькою прорисованою зоною їх розміщення. У випадку коефіцієнта анізотропії кількість екстремумів зменшується від 11 до 3, що супроводжується локалізацією областей його максимальних значень.

Акустична і пружна симетрія текстури моделі «біотитовий сланець» за результатами математичного моделювання – планальна ромбічна ($\mu^*_{11} < \mu^*_{22} > \mu^*_{33}$; $C^{*11} < C^{*22} > C^{*33}$; $C^{*44} < C^{*55} < C^{*66}$). Величина інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії змінюється від 13 % при рівномірному розподілі орієнтованих включень і досягає 42 % при майже 100 % однонаправленій їх орієнтації вздовж осі x_3 . Із зростанням однонаправленості кристалографічної орієнтації зерен кварцу і біотиту різко збільшуються ефективні пружні постійні породи C^{*11} , C^{*22} , в меншій мірі – C^{*66} , C^{*33} планарно зменшуються, а C^{*44} , C^{*55} майже не залежать від впливу орієнтації включень (рис. 2).

Для моделі «біотитовий сланець» побудовані стереопроєкції ізольованих вказаних поверхонь пружних параметрів (різниці «швидкої» і «повільної» поперечних мод фазової швидкості та диференціального коефіцієнту пружної анізотропії) при рівномірному направленій кристалографічній орієнтації зерен біотиту і кварцу вздовж осей x_1 , x_2 , x_3 , при 60 %-вій направленій орієнтації породотворюючих мінералів паралельно осі x_3 та при однонаправленій їх орієнтації вздовж осі x_3 відповідно.

Зміна параметрів пружної анізотропії ще більш значна ніж для моделі «амфіболіт». Так величина різниці між «швидкою» і «повільною» поперечними модами змінюється від 1,3 км/с для рівномірного розподілу орієнтованих включень до 2,2 км/с при однонаправленій орієнтації паралельно осі x_3 кварцу і біотиту, а коефіцієнту диференціального пружної анізотропії від 28 % до 48 % відповідно. Середні показники інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії A_{ij} добре узгоджуються зі значеннями диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_{ij} .

Як і у випадку моделі амфіболіту для моделі «сланець біотитовий» спостерігається істотне зменшення кількості екстремумів і їх розташування на площині зі зростанням однонаправленості кристалографічної орієнтації зерен біотиту, кварцу і мікротріщин.

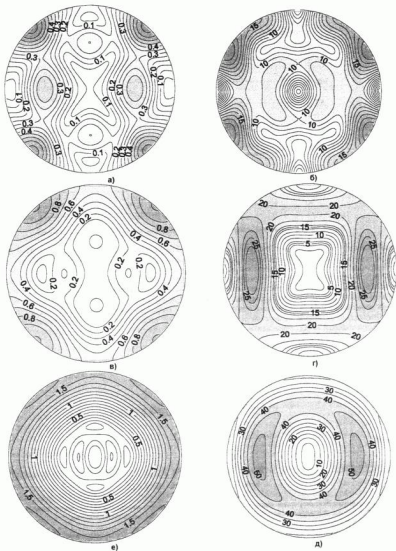


Рис. 1. Стереопроєкції ізольних вказівних поверхонь параметрів анізотропії моделі амфіболіту а, в, д - різниці між «швидкою» і «повільною» квазіпоперечними хвилями та б, г, е - коефіцієнту диференціальної пружної анізотропії для різних випадків однопінаправленої кристаліграфічної орієнтації мінералів і мікротріщин а, б - 33 %, в, г - 60 %, д, е - 95 %

Для різниці $\Delta V_0 = V_{s1} - V_{s2}$ кількість екстремумів зменшується з 12 до 7, що локалізуються у вузькій при осьовій області мінімальних значень. Що ж стосується A_0 , то як і у випадку моделі амфіболіту кількість екстремумів зменшується з 11 до 3 з тією ж самою локалізацією областей максимальних значень.

Аналізуючи параметри пружної анізотропії моделей амфіболіту і сланцю біотитового, що характерні для найпоширеніших порід КНГС, можна відзначити, що пружна симетрія їх текстури накладає жорсткі обмеження на симетрію вказівних поверхонь всіх без виключення параметрів анізотропії та на симетрію вказівної поверхні диференціального коефіцієнта пружної анізотропії. В даному випадку ромбічної симетрії текстури моделей амфіболіту і сланцю біотитового наочно проілюстровано, що існують окремі напрямки вздовж яких величина диференціального коефіцієнта пружної анізотропії дорівнює нулеві. Отже, закономірності розповсюдження пружних хвиль вздовж цих напрямків нічим не відрізняються від ізотропного середовища.

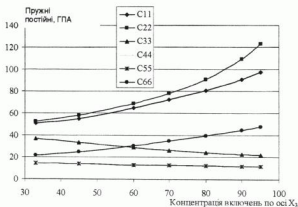


Рис. 2. Вплив орієнтації включень на пружні постійні моделі біотитовий сланець

Висновки. Таким чином, величина інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії A_d для обох досліджених моделей різко зростає із збільшенням кількості однонаправлених зерен породоутворюючих мінералів і тріщин і досягає величини 40,9 % для моделі «амфіболіт» і 42 % для моделі «сланець біотитовий» при їх загальній однонаправленій орієнтації. Пружна симетрія для обраних моделей зменшується не менш інтенсивно, досягаючи величини 55 %. Істотно збільшується різниця між «швидкою» і «повільною» поперечними хвилями (до 2,2 км/с для моделі «сланець біотитовий»), що свідчить про інтенсивні процеси розщеплення хвиль отже і про анізотропність порід.

Орієнтація мінералів і мікротріщин тісно пов'язана з рівнем деформаційних перетворень метаморфічних порід Криворіжжя. Досліджені авторами параметри пружної та акустичної анізотропії є кількісними і явними показниками текстурної деформованості порід. Результати моделювання можуть бути використані при акустичному текстурному аналізі тектонофацій.

1. Луїжко О.І. Тектонофаціальна структура Криворіжжя // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія. – 2000. – Вип. 17. 2. Прохорова Г.Т. Проблеми сейсмоакустики анізотропних геологічних серед // Віст. Київ. ун-та, Геологія, 1991, N 17.

Надійшла до редколегії 10.03.08.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 556.3:628

О. Кошляков, канд. геол.-мін. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН РІВНІВ ҐРУНТОВИХ ВОД ВНАСЛІДОК БУДІВНИЦТВА НА ТЕРИТОРІЇ М. КИЄВА

Наведено результати багаторічних фактичних досліджень і математичного моделювання змін рівнів ґрунтових вод на території м. Києва. Виявлені тенденції цих змін внаслідок інтенсивного будівництва.

The results of long-term researches and mathematical modeling for ground water level changes in Kiev city territory are stated. The lines of these changes owing to intensive building are established.

Постановка проблеми. Інтенсивне інженерне освоєння території м. Києва породило низку екологічних проблем, пов'язаних з виникненням або активізацією небезпечних геологічних процесів. Останнім часом, у зв'язку з підвищенням щільності забудови міської території, освоєнням ділянок із складними природними інженерно-геологічними умовами, висотним будівництвом і використанням підземного простору, застосуванням фундаментів з полів буронабивних паль, дослідження згаданих проблем (зокрема підтоплення території, зсувні процеси, барражний ефект) набувають все більшої актуальності. Вирішальна роль при цьому належить вивченню динаміки рівнів ґрунтових вод. Проте системні дослідження ґрунтових вод на території міста не виконуються. У випадках виникнення аварійних ситуацій або при експертному розгляді проектної будівельної документації виникають проблеми, але їх вирішення суттєво ускладнюється або унеможливується відсутністю вихідної інформації. В кращому випадку питання розв'язується в сфері інженерно-будівельної площини за допомогою додаткових польових досліджень і математичного гідрогеологічного моделювання, але лише в межах окремої ділянки будівництва, без урахування спільного впливу інших ділянок та всього складного комплексу геолого-гідрогеологічних умов. Першим кроком у подоланні проблеми повинно бути узагальнення і аналіз накопичених фактичних результатів досліджень змін рівнів ґрунтових вод на території міста та досвід математичного моделювання фільтрації ґрунтових вод для вирішення окремих інженерних задач.