Заключним етапом дослідження є візуалізація результатів прогнозування, зокрема за допомогою побудови серій рангових картограм. У якості прикладу на рис. 2 наведено прогностичні моделі досліджуваних територій, складені для років максимальної на прогнозний період водності з використанням інструментальної ГІС Mapinfo Professional. Результати проведених досліджень свідчать про деяку асинхронність гідрогеодинамічного режиму розглянутих регіонів і запізнення зміни положення рівнів ґрунтових вод більш південної Дніпропетровської області по відношенню до їх мінливості на території Житомирщини.

Перевірку адекватності отриманих прогностичних моделей здійснено шляхом порівняння епігнозних значень із фактичними даними режимних спостережень. Відповідно до існуючих критеріїв якості та надійності гідрогеологічного прогнозування [2; 3; 7], запропонована методика прогнозу зміни рівнів ґрунтових вод з використанням інтегрального показника для різних гідрогеологічних районів може бути оцінена як "задовільна" і "добра", що є допустимим для складання довгострокових прогнозів.

Проведені дослідження є основою для створення автоматизованої аналітичної ГІС довгострокового прогнозування режиму рівнів підземних вод території України, впровадження якої дозволить систематизувати, зберігати існуючу інформацію та здійснювати її обробку відповідно до встановленого алгоритму, що в свою чергу дасть змогу зменшити обсяги польових гідрогеологічних спостережень, скоротити терміни виконання камеральної обробки даних моніторингу рівнів підземних вод і підвищити достовірність довгострокових гідрогеологічних прогнозів.

Розроблена методика довгострокового прогнозування режиму рівнів підземних вод і створена на її основі ГІС дозволять оперативно оцінювати ймовірність розвитку процесів підтоплення і створення сприятливих умов для активізації небезпечних ЕГП для заданої території, що дасть змогу здійснювати ефективне управління регіоном.

Основні результати дослідження наступні:

1. Запропоновано універсальний алгоритм довгострокового регіонального прогнозування природного режиму підземних вод і проведено його апробацію на прикладі ґрунтових вод територій Житомирської та Дніпропетровської адміністративних областей.

2. Визначено забезпеченість середньорічного рівня підземних вод за допомогою імовірнісного інтегрального показника, який враховує сукупний вплив динамічних режимоутворювальних факторів для певної місцевості.

3. Встановлено закономірності формування гідрогеодинамічного режиму, які є основою для створення системи регіонального довгострокового прогнозування рівнів підземних вод, що і є перспективою подальших робіт у даному напрямку.

1. *Kabir M., Hamza K., Mudd G.* Groundwater-Climate Relationships, Ranger Uranium Mine, Australia: Time Series Statistical Analyses // Uranium, Mining and Hydrogeology: Math. of 5th International Conference, Freiberg, 2008. – F., 2008. 2. *Ковалевский В.С.* Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. – М., 1976. 3. *Коноплянцев А.А., Семенов С.М.* Прогноз и картирование режима грунтовых вод / За ред. А.А. Коноплянцева. – М., 1974. 4. *Кошляков Є.* Застосування геоінформаційного підходу при вивченні динаміки ґрунтових вод на території міст // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – 2009. 5. *Кузьменко Э.* Универсальный алгоритм прогнозирования экзогенных геологических процессов // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матер. VIII Міжнар. наук. конф., Київ, 2007. – К., 2007. 6. *Логинов О., Сарычева Л.* Прогнозирование уровня грунтовых вод с применением клеточных автоматов // УСиМ. – 2009. – № 1. – С. 86-92. 7. *Рубан С.А., Шинкаревський М.А.* Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. / За ред. М.А. Шинкаревського – К., 2005. 8. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності / Л.М. Климчук, П.В. Блінов, В.Ф. Величко та ін.; за ред. В.М. Шестопалова. – К., 2008. 9. Сучасні принципи гідрогеологічного районування / В.М. Шестопалов, П.В. Блінов, Г.Г. Лютий та ін. // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2010. – № 3–4. 10. *Яковлєв Є.* Нові питання регіональної переоцінки та охорони прісних підземних вод України як чинника стратегічної безпеки питного водопостачання // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2009. – № 3. – С. 30–36.

Надійшла до редколегії 15.02.12

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.834.042; 551.21.3; 539.375; 552.53-552.2

Г. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук, проф., С. Вижва, д-р геол. наук, проф., Ю. Онанко, асп., А. Онанко, канд. фіз.-мат. наук

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ШВИДКОСТЕЙ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ В ПОРОДАХ-КОЛЕКТОРАХ ІНВАРІАНТНО-ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Запропонована автоматизована система чисельного аналізу і візуалізації даних ультразвукових вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних квазіповздовжньої, "швидкої" і "повільної" квазіпоперечних хвиль в породах-колекторах інваріантно-поляризаційним методом. Одержані пружні постійні пісковиків Волино – Подільського регіону, пружна симетрія яких ромбічна.

The automated system is created for numerical analysis and visualization of ultrasonic measurings of velocities anisotropy parameters of elastic quasiprimary, "rapid" and "slow" quasisecondary waves in rock-reservoirs by invariant-polarize method. The sandstones elastic constants of Volino – Podil'skiy region are got, the elastic symmetry of which is rhombic.

Вступ. У роботі запропонована автоматизована система чисельного аналізу і візуалізації даних ультразвукових (УЗ) вимірювань параметрів анізотропії фазових швидкостей пружних квазіповздовжньої $V_{\parallel}$, "повільної" $V_{\perp 2}$ і "швидкої" $V_{\perp 1}$ квазіпоперечних хвиль порідколекторів. Анізотропія швидкостей V пружних хвиль гірських порід розглядається як один із найбільш інформативних параметрів геодинамічних процесів, що відбувається в надрах Землі. Розповсюдження УЗ пружних хвиль $V_{\parallel}$, $V_{\perp 2}$ і $V_{\perp 1}$ в гірських породах супроводжується розсіюванням і поглинанням α(f), яке залежить від частоти f і спричиняє спотворення акустичних імпульсів внаслідок скінченої ширини їх спектру та ускладнює вимірювання фазових швидкостей пружних хвиль $V_{\parallel}$, $V_{\perp 2}$ і $V_{\perp 1}$ [1-5]. Інтенсивний динамотермальний метаморфізм, що накладався на породи, призводив до структурно-механічного перетворення їх при різних рівнях тисків P та температур T в анізотропних полях напружень σ_i. Ці перетворення мали свій відбиток у структурно-текстурних особливостях порід. Планальна структу-

© Продайвода Г., Вижва С., Онанко Ю., Онанко А., 2012

ра означає, що породи в момент свого утворення перебували в умовах літостатичного тиску.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Мала тривалість генеруючого і високий передній фронт збудженого імпульсу створює гарні передумови використання вимірювань параметрів анізотропії фазових швидкостей пружних квазіповздовжньої $V_{\parallel}$, "повільної" $V_{\perp 2}$ і "швидкої" $V_{\perp 1}$ квазіпоперечних хвиль для дослідження зразків гірських порід. Гірські породи мають широкий діапазон структурно-текстурних ознак, високі дисперсії пружних коливань, тріщинуватості і пористості [4-7,10-17,19-22]. Корисним метод використання вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль V стає при вивченні змін тріщинуватості і пористості порід-колекторів, оскільки генерація тріщин супроводжується зменшенням $V_{\parallel}$, $V_{\perp}$ і поглинанням енергії U внаслідок росту тріщин $l_{тр}$ і відповідної зміни структури геологічного середовища в околиці берегів тріщин при різних величинах флюїдного потенціалу середовища. Відомо, що різке затухання α поперечних хвиль відбувається при сумісному впливі підвищених температур T, диференційних напруг σ_i і води. Жоден фактор окремо не викликає розкриття міжзернових границь [4]. Тому аналіз затухання пружних хвиль α може стати в нагоді при дослідженні пружних, термальних і фізико-хімічних чинників тріщиноутворення порід-колекторів [8;9,18].

Задачі досліджень. Використання чутливого методу використання вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль V дає змогу встановити основні риси розвитку тріщиноутворення в умовах напруженно-деформованого стану гірських порід. Тому задачею цього дослідження є показ ефективності застосування методу використання вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль V з точки зору встановлення основних генетичних типів тріщинуватості, динаміки їх утворення. Ці характеристики несуть інформацію про історію формування породи-колектору.

Методика досліджень. Із штуфів керна на каменерізному станку були виготовлені зразки у вигляді куборомбододекаедрів, розміром L " 30x30x30 мм^3. Забезпечувалася паралельність відповідних пар граней не гірше ± 0.015 мм. Орієнтація напрямків вимірів – з точністю α = ± 1,5°. Стандартними петрофізичними методами визначалися щільність і ефективна пористість зразків пісковику. Фазові швидкості об'ємних пружних хвиль одержані за допомогою імпульсної установки для ультразвукових вимірювань швидкостей на частоті f " 1,67 МГц. Як п'єзовипромінювач і приймач повздовжніх і поперечних мод використовувався п'єзокварц відповідної поляризації. Точність визначення фазових швидкостей повздовжніх та поперечних мод ΔV/V " 0,5 %.

Геолого-петрографічна характеристика зразків порід-колекторів. Для експериментального дослідження пружних постійних C_{ijkl} були відібрані зразки порід-колекторів із різних структурних зон Волино – Подільського регіону: Володимирівської, Великомостівської, Сокальської і Сушнівської площ. У результаті петрографічних досліджень встановлено їх літологічний склад, вік, структурно-текстурні особливості, характер цементу, які представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних зразків гірських порід Волино – Подільського регіону

№ п/п	№ зразка	№ свердловини	Інтервал відбору керна, м	Літологія	Вік
1	Вл-27	Володимирська, 1	2210-2219	вапняк	Є
2	Вл-31	Володимирська, 1	2263-2268	вапняк	Є
3	Вм-27	Великомостівська, 32	2170-2178	вапняк	D
4	Со-20	Сокальська, 1	3484-3506	пісковик	Є
5	Су-18	Сушнівська, 1	2545-2550	пісковик	Є
6	Су-19	Сушнівська, 1	2500-2502	пісковик	Є

Результати досліджень та їх обговорення. Результати вимірів оброблялися за допомогою автоматизованої системи чисельного аналізу і візуалізації даних УЗ вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль порід-колекторів, опис якої наведено нижче. На рис. 1 представлено принципову схему алгоритму роботи автоматизованої системи чисельного аналізу і візуалізації даних УЗ вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль $V_{\parallel}$, $V_{\perp 2}$ і $V_{\perp 1}$ порід-колекторів.

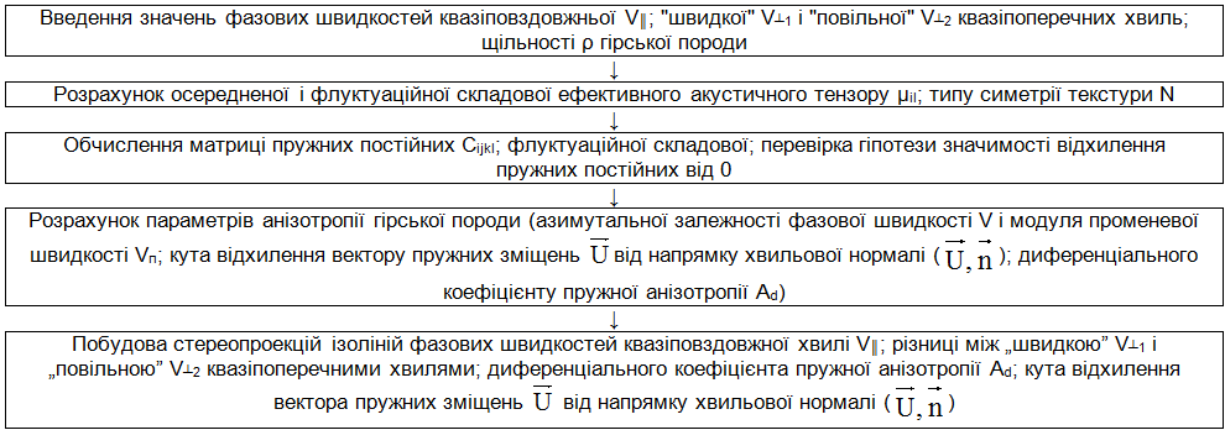

Рис. 1. Принципова схема алгоритму роботи автоматизованої системи чисельного аналізу і візуалізації даних ультразвукових вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль $V_{\parallel}$, " $V_{\perp 1}$, $V_{\perp 2}$ порід-колекторів

Швидкості пружних хвиль $V_{\parallel}$, $V_{\perp 1}$ і $V_{\perp 2}$, акустичні константи μ_{il} і пружні постійні C_{ijkl} пісковиків змінюються в широких межах. Це зв'язано з варіаціями їх літологічного складу і складом цементу, наявністю пор і мікротріщин. Вичерпну оцінку анізотропії можна одержати лише при визначені повного набору тензорних матриць акустичних і пружних постійних, які забезпечують надійні оцінки акустичної і пружної симетрії середовищ та параметрів анізотропії пружних хвиль. Для вирішення цих задач були залучені урівноважені значення фазо-

вих швидкостей пружних хвиль гірських порід. Результати чисельних розрахунків власних значень і власних напрямків акустичного тензору $\mu_{il} = C_{ijjl}/\rho$, а також значення інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії A_μ і параметрів акустичної лінійності L_μ та сланцюватості S_μ для зразків порід Волино – Подільського регіону представлені в таблиці 1. З аналізу результатів випливає, що застосування операції урівноваження до виміряних значень фазових швидкостей V пружних хвиль дозволило істотно згладити вплив флуктуаційної складової. Це підтверджується досить вузькими, за винятком одиничних випадків, довірчими границями обчислених власних значень регулярної складової акустичного тензора μ_{il} в табл. 2.

Таблиця 2

Власні значення детермінованої складової акустичного тензору і їх довірчі границі $< \mu_{il} > \pm\Delta$ при 5 % рівні значущості – у чисельнику та їх власні напрямки – у знаменнику зразків гірських порід Волино-Подільського регіону

Номери зразків	$\frac{< \mu_{11} > \pm\Delta}{(км/с)^2}$, $l^{(1)}, m^{(1)}, n^{(1)}$	$\frac{< \mu_{22} > \pm\Delta}{(км/с)^2}$, $l^{(2)}, m^{(2)}, n^{(2)}$	$\frac{< \mu_{33} > \pm\Delta}{(км/с)^2}$, $l^{(3)}, m^{(3)}, n^{(3)}$	Інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії, A_μ, %	Симетрія акустичного тензору	Параметр акустичної лінійності L_μ	Параметр акустичної сланцюватості S_μ
Вл-27	31,681±0,0164 0,530; 0,842; -0,097	30,575±0,0164 -0,844; 0,535; 0,036	27,165±0,0148 0,082; 0,063; 0,995	6,43	планальна mmm	1,036	1,126
Вл-31	36,623±0,3103 -0,107; -0,147;-0,983	32,679±0,3069 -0,993; 0,062; 0,099	22,254±0,3090 0,046; 0,987; -0,153	19,48	планальна mmm	1,121	1,468
Вм-27	52,236±0,0565 -0,178; 0,984; 0,029	49,310±0,0634 -0,701; -0,106;-0,706	46,152±0,0635 -0,691; -0,146; 0,708	5,04	планальна mmm	1,059	1,068
Со-20	39,917±0,0303 0,946; -0,322; 0,027	35,331±0,0311 0,318; 0,914; -0,253	34,796±0,0297 0,056; 0,248; 0,967	6,25	аксіальна mmm	1,130	1,015
Су-18	30,469±0,0682 0,755; 0,609; 0,245	28,822±0,0686 -0,656; 0,704; 0,271	24,208±0,0633 -0,007; -0,365; 0,931	9,48	планальна mmm	1,057	1,191
Су-19	31,428±0,1038 0,729; 0,684; 0,020	28,739±0,1042 -0,681; 0,723; 0,121	25,583±0,0919 0,068; -0,102; 0,992	8,33	планальна mmm	1,094	1,123

Залежність акустичної лінійності L_μ від акустичної сланцюватості S_μ текстур досліджуваних зразків гірських порід характеризує ступінь упорядкованості елементів текстури породи вздовж окремих напрямків (лінійна орієнтація, тобто акустична лінійність) або вздовж площин (шаруватість, сланцюватість, тобто акустична сланцюватість). На діаграмі акустичного еліпсоїду по мірі віддалення точок від початку координат збільшується і акустична анізотропія. Згідно з даними математичного моделювання, це вказує і про більш високий ступінь упорядкованості структурних елементів текстури породи. Пряма на акустичній діаграмі, що проведена під кутом 45° до координатних осей, поділяє області планальних і аксільних симетрії текстур, тобто, розрізнює текстури з переважно сланцюватим і лінійним структурним мотивами. В тому випадку, коли точки розташовуються на відповідних координатних осях L_μ або S_μ, їх відносять до поперечно-ізотропної пружної симетрії, відповідно, аксіальної або планальної.

За графіками залежності $L_\mu = f(S_\mu)$ було проведено розмежування на аксіальні (лінійні) та планальні (сланцюваті) текстури. Точки, що розташовані вище означеної прямої, відповідають аксіальним (лінійним) текстурам, а ті, що лежать нижче прямої – планальним або акустично-сланцюватим текстурам. Жодне із значень параметрів L_μ і S_μ не лягає на координатні вісі, хоча параметри акустичного еліпсоїду деяких текстур і мають невеликі відхилення від координатних осей. Це свідчить про відсутність текстур поперечно – ізотропної симетрії. Разом з тим більша частина текстур досліджуваних порід мають шаруватий структурний мотив (планальні текстури), а менша частина – лінійний структурний мотив (аксіальна текстура). Пружна симетрія досліджуваних текстур осадових порід не вища за ромбічну.

Проведений аналіз параметрів акустичної анізотропії основних петротипів осадових порід, що представляють Волино – Подільський регіон : пісковиків, вапняків. За його результатами встановлено:

- інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії пісковиків змінюється 6,25 % < A_μ < 19,48 % складаючи в середньому $A_\mu \approx 9{,}99$ %;
- інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії вапняку складає $A_\mu \approx 5{,}04$ %.

За цими даними встановлено, що досліджені зразки осадових порід Волино-Подільського регіону характеризуються середніми та високими значеннями інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії A_μ. Класифікацію текстур на вищу, середню і нижню категорії було здійснено за симетрією акустичного тензору μ_{il} з урахуванням довірчих меж знайдених власних значень (таблиця 1):

- сферична симетрія (∞/∞ mmm), якщо виконується рівність $<\mu_{11}>=<\mu_{22}>=<\mu_{33}>$;
- поперечно-ізотропна симетрія (∞/mmm), якщо виконується умова $<\mu_{11}>\neq<\mu_{22}>=<\mu_{33}>$; або $<\mu_{11}>=<\mu_{22}>\neq<\mu_{33}>$; або $<\mu_{11}>\neq<\mu_{33}>=<\mu_{22}>$;
- ромбічна симетрія (mmm), якщо виконується умова $<\mu_{11}>\neq<\mu_{22}>\neq<\mu_{33}>$.

Досліджувані текстури порід-колекторів по співвідношенню власних значень акустичного тензора μ_{33} можна віднести до ромбічної симетрії ($<\mu_{11}>\neq<\mu_{22}>\neq<\mu_{33}>$). Цей висновок підтверджено аналізом параметрів акустичного еліпсоїду, а саме акустичної лінійності $L_\mu = \mu_g/\mu_m$ і акустичної сланцюватості $S_\mu = \mu_m/\mu_p$, де μ_g, μ_m, μ_p – відповідно найбільше, проміжне і найменше власні значення акустичного тензору. З метою оцінки пружної симетрії текстур та параметрів азимутальної пружної симетрії осадових порід Волино – Подільського регіону з урівноважених значень фазових швидкостей ізонормальних хвиль (квазіповздовжної і "швидкої" та "повільної" квазіпоперечних хвиль) було проведено обчислення регулярної складової $<C_{mn}>$ ефективного тензору їх пружних постійних. В деяких випадках значення пружних постійних в ромбічному наближенні з урахуванням флуктуаційної складової незначно відрізняються від нуля, але нехтування ними призводило до істотних неузгоджень між урівноваженими значеннями фазових швидкостей і пружними постійними C_{mn}.

Аналіз матриці ефективних пружних постійних C_{mn} показав, що пружна симетрія текстур осадових порід Волино-Подільського регіону не вище ромбічної. Пруж-

них текстур вищих порядків виявлено не було. Для зразків осадових порід Волино-Подільського регіону встановлено, що ромбічне наближення найкраще узгоджується з експериментальними даними. У пісковиках коефіцієнти пружної і акустичної анізотропії змінюються в широких межах. Показано, що для них також характерні явища акустичного двопроменезаломлення, поляризаційні ефекти і сингулярна поведінка векторів пружних зміщень навколо акустичних осей, які не збігаються з напрямками осей симетрії текстур. Експериментально встановлено, що більшість досліджуваних зразків є пружноанізотропними. Особливо суттєвий вплив на величину інтегрального коефіцієнта пружної анізотропії A_μ робить просторовий збіг напрямків орієнтації структурних елементів. Перш за все, кристалографічної орієнтації і орієнтації зерен по формі разом з орієнтацією мікротріщин. Експериментальні дослідження гірських порід УЗ методами показують, що анізотропія пружних хвиль обумовлена впливом кристалографічної орієнтації мінералів, формою зерен орієнтованих мінералів, орієнтацією мікротріщин. За характером орієнтації структурних елементів текстури гірських порід можна розділити на три групи: однонаправлені, різнонаправлені в одній площині, просторово-орієнтовані.

Найбільш інформативним параметром анізотропії є диференційний коефіцієнт пружної анізотропії A_d, величина якого характеризує відхилення текстури гірської породи від найближчої до нього ізотропного середовища. За допомогою цього коефіцієнта можна порівняти анізотропію пружних середовищ різної симетрії. Величина коефіцієнта поперечно – ізотропної пружної анізотропії характеризує ступінь відхилення текстур ромбічної симетрії від найближчого до них за пружними властивостями поперечно – ізотропного середовища.

Анізотропія пружних хвиль у кристалах проявляється не тільки в азимутальній залежності фазових V і променевих швидкостей $V_п$, але і у відхиленні векторів пружних зміщень $\vec{U}$ від напрямку хвильової нормалі ($\vec{U}$, $\vec{n}$), в явищі акустичного подвійного променезаломлення і внутрішньої конічної рефракції, сингулярній поведінці векторів пружних зміщень в околі акустичних осей. Ці властивості досліджені для високосиметричних кристалів. Використання стереопроекцій дозволило представити характер анізотропії пружних хвиль повністю, а не в окремих перетинах координатними площинами. На вказівні поверхні параметрів анізотропії пружних хвиль впливає тип симетрії кристалу.

Стереопроекції параметрів пружної анізотропії були розраховані для досліджуваних зразків порід-колекторів Волино-Подільського регіону і представлені на рис. 2. Пружна симетрія середовища накладає досить жорсткі обмеження на характер азимутальної залежності параметрів анізотропії пружних хвиль. За власними значеннями акустичного тензору μ_{il} обчислена величина інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії A_μ, яка змінюється по стволам свердловин в досить широких межах. Так в інтервалі глибин H = 2100÷3500 м величина інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії змінюється 5,04 % < A_μ < 19,48 %. Досліджені зразки Волино – Подільського регіону характеризуються середнім та високим значеннями інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії 5 % < A_μ < 20 %. На рис. 2 представлено стереопроекції різниці поперечних швидкостей $\Delta V_\perp$ (ізолінії – в км/с).

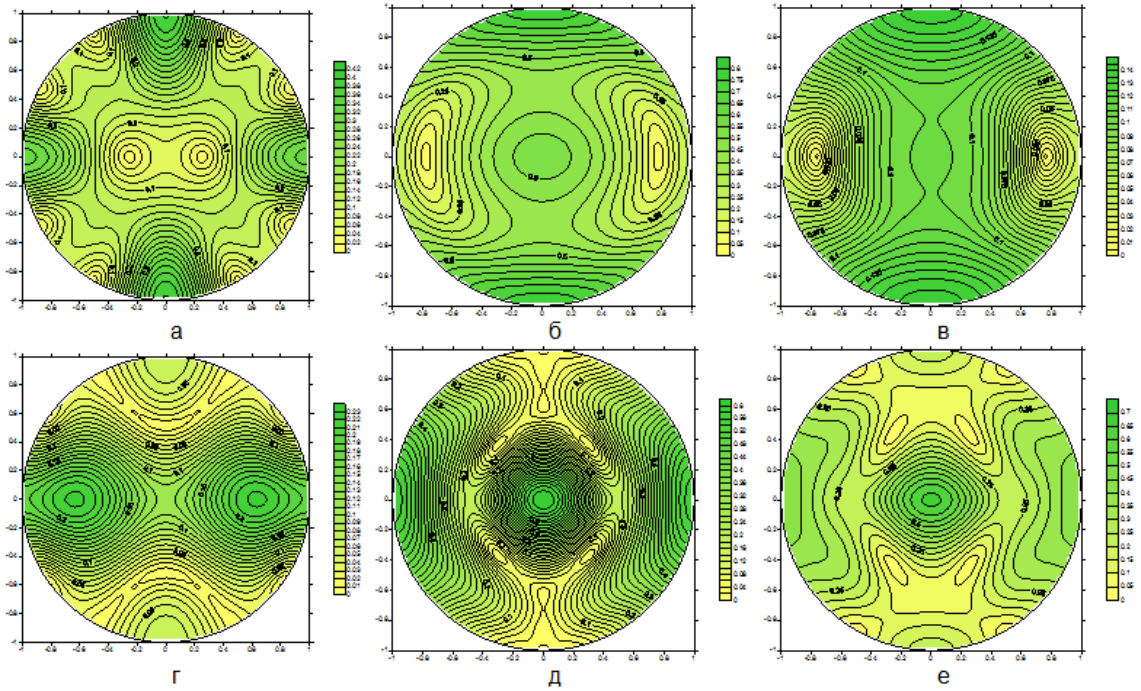

Рис. 2. Стереопроекції різниці поперечних швидкостей $\Delta V_\perp$ (ізолінії – в км/с):
а) Вл-27; б) Вл-31; в) Вм-27; г) Со-20; д) Су-18; е) Су-19

Експериментально встановлено, що більшість досліджуваних зразків є пружноанізотропними. Величина коефіцієнта пружної анізотропії змінюється від 5,04 до 19,48 %. Особливо суттєвий вплив на величину коефіцієнта пружної анізотропії робить просторовий збіг напрямків орієнтації структурних елементів. Перш за все, кристалографічної орієнтації і орієнтації зерен по формі разом з орієнтацією мікротріщин.

Проведений аналіз параметрів пружної анізотропії зразків осадових порід Волино-Подільського регіону показав, що ромбічне наближення забезпечило максимальне узгодження експериментальних і розрахункових даних. Узагальнений аналіз результатів ефективних пружних постійних і параметрів анізотропії об'ємних пружних хвиль дозволяє стверджувати, що пружна симетрія текстур осадових порід Волино-Подільського регіону не вище за ромбічну. Отже, ромбічне наближення при визначенні параметрів пружної анізотропії зразків осадових порід Волино-Подільського регіону виявилося оптимальним. Отримані результати співставляються з величиною

відносного середнього акустичного коефіцієнта анізотропії A_μ, визначеного з власних значень регулярної складової акустичного тензора μ_{ll} з табл. 2.

Анізотропія досліджуваних порід-колекторів обумовлена текстурними особливостями, впорядкованістю структурно–морфологічного парагенезису, який проявляється у смугастості і лінійності, що пов'язана зі сплощено–лінзовидним розвитком смугастості і сланцюватості, орієнтуванням шарнірів і осьових площин лінійних складок, та зв'язаними з ними орієнтуваннями мінералів за формою і будовою. Ця анізотропія ускладнюється накладеною упорядкованою мікротріщинуватістю, яка викликана сучасним станом гірських порід. Пружна анізотропія відображає історію деформації осадових порід. Досліджувані зразки деформованих осадових порід мають виражену впорядкованість будови, яка призводить до ще більш вираженої анізотропії пружних хвиль. Анізотропія і впорядкованість структурних елементів осадових порід – взаємопов'язані фундаментальні властивості, що відображають деформаційні процеси їх формування і перетворення.В умовах незворотних деформацій є вплив флюїдонасичення проявляється у формі диференціально-пружних ефектів, які обумовлюються як кристалічною будовою, так і типом міжфазового зв'язку, температурою T, тиском P та іншими параметрами. На відміну від магматичних порід [4] для пісковиків більш характерним є наявність дворівневої ієрархії тріщин. Пружна анізотропія відображає історію деформації осадових порід. Досліджувані зразки деформованих осадових порід мають виражену впорядкованість будови, яка призводить до ще більш вираженої анізотропії пружних хвиль. Анізотропія і впорядкованість структурних елементів осадових порід – взаємопов'язані фундаментальні властивості, що відображають деформаційні процеси їх формування і перетворення.

Висновки. Таким чином, розроблена автоматизована система чисельного аналізу і візуалізації даних УЗ вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль в породах-колекторах інваріантно-поляризаційним методом може використовуватись для експресобробки експериментальних значень фазових швидкостей квазіповздовжніх $V_\parallel$, "швидкої" $V_{\perp 1}$ і "повільної" $V_{\perp 2}$ квазіпоперечних хвиль та щільності ρ порід-колекторів. Розглядаються програмно-алгоритмічні засоби автоматизованої системи чисельного аналізу і візуалізації даних УЗ вимірювань параметрів анізотропії A_d швидкостей пружних хвиль в гірських породах, які забезпечують урахування впливу неоднорідності складу і будови текстур гірських порід та їх упорядкованості. Одержані пружні постійні пісковиків Волино-Подільського регіону, які свідчать про те, що пружна симетрія ромбічна, а не поперечно – ізотропна. Отримані результати мають важливе значення для побудови сейсмічних моделей реальних геологічних середовищ.

На прикладі порід-колекторів показано, що використання методу вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль V є доцільним і виправданим для здійснення неруйнівного контролю текстури зцементованих осадових дрібнозернистих пісковиків з точки зору розвитку теорії деформації порід-колекторів, утворення і розповсюдження тріщин, відновлення полів механічних напружень σ_i.

1. *Александров К.С., Продайвода Г.Т.* Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 354с. 2. *Астафьев С.В., Шилько Е.В., Ружин В.В., Псахье С.Г.* Исследование влияния напряженного состояния на отклик границ раздела блоков в геологических средах при динамических воздействиях // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 1. – С. 67-77. 3. *Безродний Д.А., Шабатура О.В., Ляшенко О.В та ін.* Акустична емісія в гетерозернистих плагіогранітах при неоднорідному термічному впливі // Вісник КУ. Геологія. – 2007. – Вип. 41. – С. 37-39. 4. *Беспалько А.А., Гольд Р.М., Яворович Л.В., Дацко Д.И.* Влияние текстурных особенностей образцов алевролита на параметры электромагнитного сигнала при акустическом возбуждении // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2002. – №2. – С. 27-31. 5. *Вижва С.А.* Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. – К.: Обрії, 2004. – 236 с. 6. *Ипатенко С.П., Ипатенко А.С.* Новое о физике Земли (Начала геономии). – К.: НЧП "КОРУНД", 2002. – 194 с. 7. *Качарян Г.Т., Сливак А.А.* Динамика деформирования блочных массивов горных пород. – М., 2003. 8. *Кузнецов О.Л., Симкин О.Л., Чилингар Дж.* Физические основы вибрационного и акустического воздействий на нефтегазовые пласты. М.: Мир, 2001. – 260 с. 9. *Лукієнко О.І.* Структурна геологія. – К.: КНТ, 2008. – 350 с. 10. *Маслов Б.П., Продайвода Г.Т., Выжва С.А.* Новый метод математического моделирования процессов разрушения в литосфере // Геоинформатика. – 2006. – №3. – С. 53-61. 11. *Продайвода Г.Т., Вижва С.А., Безродна І.М., Продайвода Т.Г.* Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу. – К.: ВПЦ "КУ", 2011. – 367 с. 12. *Павлишин В.І., Матковський О.І., Довгий С.О.* Генезис мінералів. – К.: ВПЦ "КУ", 2003. 13. *Продайвода Г.Т., Вижва С.А., Куликов О.А.* Пружні постійні і анізотропія об'ємних пружних хвиль пісковиків // Вісник КУ. Геологія. – 1995. – №13. – С. 38-54. 14. *Продайвода Г.Т., Маслов Б.П., Выжва С.А.* Акустоупругие эффекты в микротрещиноватой геологической среде // Геофизический журнал. – 2001. – Т. 23, № 5. – С. 92 -100. 15. *Савич А.И., Коптев В.И.* Изучения напряженного состояния пород сейсмоакустическими методами // Физика Земли. – 1991. – № 9. – С. 60 – 72. 16. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. – 100 с. 17. *Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. – 270 с. 18. *Толстой М.І., Гасанов Ю.Л., Костенко Н.В. та ін.* Петрогеохімія і петрофізика гранітоїдів Українського щита та деякі аспекти їх практичного використання : Довідник-навч. посібник. – К.: ВПЦ "КУ", 2003. – 329 с. 19. *Томилин Н.Г., Дамаскинская Е.Е., Павлов П.И.* Статистическая кинетика разрушения горных пород и прогноз сейсмических явлений // Физика твердого тела. – 2005. – Том 47, № 5. С. 955-959. 20. *Томилин Н.Г., Куксенко В.С.* Иерархическая модель разрушения горных пород. Науки о Земле: Физика и механика геоматериалов. М.: Вузовская книга, 2002. – 116 с. 21. *Шкуратник В.Л., Вознесенский А.С., Набатов В.В. та ін.* Об идентификации генотипов горных пород по их акустоэмиссионному отклику на термическое воздействие // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2009. – Ч.1, №5. – С. 225-233. 22. *Bogomolov L.M., il'ichev P.V., Novikov V.A. et al.* AE response of rocks to electric power action as seismic-electric effect manifestation // Annals of Geophysics. – 2004. – V.47, № 1. – P. 65-72.

Надійшла до редколегії 01.09.11

УДК 550.3 (519.21)

З. Вижва, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
В. Демидов, канд. фіз.-мат. наук, А. Вижва, студ.

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ ТА ДВОВИМІРНИХ ПОЛІВ В АЕРОМАГНІТОМЕТРІЇ

Для вирішення проблем кондиційності карт, доповнення даними для досягнення необхідної точності і інших проблем подібного роду в геофізичних задачах, пропонується застосовувати методи статистичного моделювання реалізацій випадкових процесів та багатовимірних випадкових функцій (випадкових полів). Для аналізу даних, їх пропонується розділяти на детерміновану та випадкову складові. Для виділення детермінованої складової пропонується наближення даних кубічними сплайнами. Стаціонарну ж випадкову складову $\xi_k(x)$ пропонується змоделювати на основі спектральних розкладів випадкових функцій. Модельний приклад – дані аеромагнітної зйомки.

To solve the problems of conditional maps, adding of data to achieve the necessary precision, and other such problems in geophysics, it is proposed to apply methods of statistical simulation of realizations of random processes and multi-dimensional random functions (random fields). For data analysis, it is proposed to be divided into deterministic and random components. To separate the deterministic component is proposed approximation of data by cubic splines. The stationary random component is $\xi_k(x)$ is proposed to modeling on the basis of spectral expansions of random functions. Model example – aeromagnetic data.

Більшість результатів геофізичних досліджень подається у цифровій формі, точність якої залежить від різних випадкових впливів (в тому числі від точності вимірювання апаратури).При цьому виникає ряд про-

© Вижва З., Демидов В., Вижва А., 2012