

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФЛЮІДОНАСИЧЕННЯ І ГЛИНИСТОСТІ НА ПРУЖНІ ТА АКУСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕВОНСЬКИХ КАРБОНАТНИХ КОЛЕКТОРІВ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

© С.А. Вижва, І.М. Безродна, Т.М. Кузьменко, 2011

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

Considered in the paper is a mathematical model of complex water-, gas- and oil-saturated Devonian carbonate reservoirs of Volyno-Podilskii region. The reservoirs differ with mineralogical composition, type and concentration of clays, as well as the hollow structure. The results showed that integrated anisotropy factor and parameters of elastic differential anisotropy are the best indicators among all investigated anisotropic parameters to study character of saturation, type of porosity, type of clays and their concentration.

**Keywords:** mathematical model, carbonate reservoir, saturation, clays.

**Вступ.** Одним із шляхів зміцнення енергетичної безпеки держави є збільшення власного видобутку нафти і газу, що принципово неможливо без відкриття нових родовищ вуглеводнів. Одним із перспективних районів в Україні є територія Волино-Подільської нафтогазоносної області (НГО).

Для побудови еталонних залежностей фізичних параметрів під час проведення пошуків, розвідки й промислової оцінки родовищ нафти й газу, зокрема для надійної інтерпретації геофізичних методів, властивості природного резервуара визначають за даними досліджень керн. Складність у побудові таких залежностей для порід-колекторів полягає у необхідності змодельовати в породі ті процеси, що відбуваються в пласті при розкритті свердловини, та врахувати вплив глинистості й флюїдонасичення. Саме математичне моделювання може бути надійним підґрунтям для оцінки впливу мінерального складу, типу пустотного простору, його насичення на фізичні властивості порід-колекторів, зв'язку геологічних процесів з результатами петрофізичних і геофізичних досліджень.

Одними із найінформативніших параметрів під час дослідження складнобудованих порід-колекторів є акустичні та пружні характеристики, за якими через швидкості поширення пружних хвиль можна визначити ємнісні та фільтраційні властивості і параметри насичення порід-колекторів. Останніми дослідженнями підтверджений істотний вплив складу та концентрації глин на ємнісно-фільтраційні характеристики. Отже, актуальність математичного моделювання впливу глинистості та флюїдонасичення на акустичні і пружні властивості порід-колекторів полягає у підготовці математичних моделей для прогнозування властивостей порід-ко-

лекторів під час інтерпретації результатів ультразвукових досліджень керн свердловин і матеріалів ГДС, виділення порід-колекторів та дослідження їх властивостей.

Основною метою математичного моделювання пружних властивостей складнобудованих порід-колекторів Волино-Подільської НГО є дослідження впливу характеру насичення (мінералізована вода, газ), включень різних типів глин та їх концентрації на густину, пружні сталі моделей, коефіцієнти та параметри анізотропії, компоненти акустичного тензора.

*Об'єкт дослідження* – багатокомпонентне матричне анізотропне геологічне середовище з мінеральними включеннями та орієнтованими сферичними пустотами, що відповідає складнобудованим девонським вапнякам Волино-Поділля.

**Стан проблеми.** Вивченню пружних та акустичних властивостей глинистих мінералів у світі присвячено небагато робіт. Цим питанням цікавилися на теренах колишнього Радянського Союзу М.Г. Храмченков, К.С. Александров, Г.Т. Продайвода, Б.П. Беліков, В.Н. Соколов та ін.

Початок розвитку математичного моделювання як окремого напрямку в геологічній науці припадає на другу половину ХХ ст. Математичному моделюванню порід-колекторів нині приділяють увагу Г.С. Поротов (Санкт-Петербург), А.А. Намгаладзе, Р.Ю. Юрик (Московський державний університет), О.А. Мартянова (Астраханський державний технічний університет) та ін. Більшого розвитку дослідження пружних властивостей глинистих порід і мінерали набули за кордоном, зокрема в США, країнах Європи та Азії (Misako Jato, Tanta Ono, Cliff T. Juhnston, Akihiko Yamogishi – Японія; Triana Vanorio, Hanika Prasad, Amos Nur – Франція; M.Корусинська–Muller, U. Rabe – США;

Narmul Haque, Knut Bjorlykke – Норвегія та ін.). Починаючи з 1980-х років було видано фундаментальні видання: К.С. Александров, Г.Т. Продайвода “Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород”; М.Г. Семенов “Введение в математическое моделирование”; Г.Т. Продайвода, С.А. Вишва “Математичне моделювання геофізичних параметрів” та ін.

Одними з найважливіших характеристик є акустичні і пружні параметри. Особливо великий внесок у розвиток математичного моделювання в галузі дослідження акустичних і пружних властивостей порід зробили науковці Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Г.Т. Продайвода, С.А. Вишва, І.М. Безродна, І.В. Віршило, З.О. Вишва, Д.А. Безродний. Вперше за допомогою методів математичного моделювання виконано значний обсяг досліджень стосовно впливу термобаричних умов, літологічного складу, фільтраційно-ємнісних параметрів, структури пустотного простору з урахуванням типу і концентрації флюїду на ефективні пружні та акустичні параметри геологічного середовища. Доведено, що за математичного моделювання пружних та акустичних характеристик виявлено особливий вплив анізотропії геологічного середовища [1, 2].

Анізотропія та симетрія – фундаментальні властивості геологічного середовища, де основні закономірності поширення хвиль визначаються його пружними властивостями. Анізотропія пружних властивостей зумовлена регулярною просторовою впорядкованістю його структурних елементів [1, 2].

Логічно допустити, що різні типи впорядкованості елементів на різних структурних рівнях геологічного середовища приводять до анізотропії фізичних властивостей, зокрема пружних та акустичних. Зрозуміло, що на різноманітність типів впливають окремі механізми геодинамічних процесів, що постійно відбуваються у земних надрах [3]. Тому вивчення анізотропії пружних хвиль на різних структурних рівнях досліджень розглядають як унікальне джерело інформації про структуру, впорядкованість і склад середовищ.

Вплив певних чинників у кожному конкретному випадку може бути різним, і в реальних гірських породах вони можуть проявлятися в різних співвідношеннях. Важливо оцінити ступінь впливу на ефективні петрофізичні характеристики кожного з чинників, у тому числі флюїдонасичення і глинистості, щоб у подальшому прогнозувати можливість їх прояву в реальному геологічному розрізі.

Окремою проблемою є вивчення впливу складу, типу глин на ефективні пружні та акустичні характеристики. Дослідження анізотропії пружних властивостей порід-колекторів, які містять гли-

нисті мінерали та характеризуються складним тріщинно-поровим простором, який насичений різним типом флюїду, становить великий інтерес у зв'язку з впливом глинистості на фільтраційно-ємнісні властивості.

**Методи.** Ефективні геофізичні параметри реального геологічного середовища загалом розраховують з певним наближенням за допомогою різних математичних методів.

Ефективні пружні сталі можна визначити через розв'язок стохастичних рівнянь рівноваги, які дають змогу наблизитися до реальних структур геологічного середовища з різноманітними властивостями елементів.

Ефективні геофізичні параметри мають верхню та нижню межі допустимих значень, діапазон яких може бути досить широким. Існує значна кількість математичних методів, за допомогою яких можна визначати ці межі, зокрема методи регуляризації, віріального розвинення і самоузгодження, умовних моментних функцій, стохастичних диференціальних рівнянь. Для розв'язання поставленої задачі авторами застосований метод умовних моментних функцій із використанням розрахункової схеми Морі–Танака. За цим методом моделюють пружні та акустичні властивості порід, досліджують вплив на анізотропію пружних властивостей кристалографічної орієнтації, форми мінеральних елементів породи та пустотних включень, структури пустотного простору. Теорія методу наведена у публікаціях [1, 2].

**Математична модель.** Складнобудований карбонатний колектор Волино-Поділля (відклади девону) розглядаємо як багатокомпонентне порово-тріщинно-кавернозне середовище, пружні властивості структурних елементів якого і їх напружено-деформований стан є випадковими функціями просторових координат. Вважаємо, що для будь-якої точки середовища справедливий закон Гука.

Припустимо, що тензорні поля пружних сталей, напружень і деформацій є статистично однорідними, оскільки масштаб кореляції випадкових полів набагато менший порівняно із розмірами макрооб'єму складнобудованого колектору.

Математична модель карбонатного колектору являє собою жорстку матрицю, яка мінералогічно представлена кальцитом. Матриця розчленована сфероїдальними, різними за формою, розмірами, насиченням та орієнтацією пустотами із своїми значеннями форматів ( $\alpha = a/c$ , де  $a$ ,  $c$  – півосі сфероїда обертання) (рис. 1). Пустоти можуть бути заповнені глиною різних типів, доломітом, пластовою водою, газом чи нафтою.

Практичним обґрунтуванням математичної моделі слугували результати мінералого-петрографічних та петрофізичних досліджень 46 зразків глинистих вапняків, відібраних із пластів девонського віку свердловин, розташованих на те-

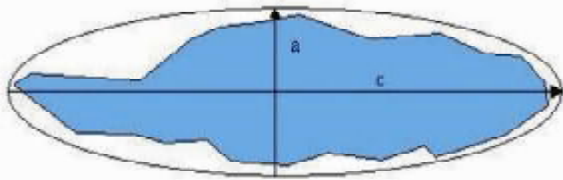


Рис. 1. Пустотна модель, як сфероїд обертання ( $a$ ,  $c$  – півосі сфероїда обертання)

риторії Волино-Поділля [4]. В результаті петрографічних досліджень зразків (вапняки органогенні доломітизовані) встановлено їхній мінеральний склад і узагальнено характеристики пустотного простору. Структура порід органогенно-детритова, на ділянках і по тріщинах перекристалізації дрібно- та середньокристалічна. Проявляються стилітові шви, виповнені темно-сірою масою глинистої речовини. Мінеральний склад: кальцит і доломіт – до 97 %, глини (монтморилоніт, іліт, каолініт) – 1–3 %, пірит – поодинокі зерна. Пористість таких порід не перевищує 15 %, наявні великі каверни вилуговування (до 1 см у діаметрі) – до 10 % (Павлов Г.Г., 2006–2010 рр.) [4]. Загальна пористість вапняків змінюється від 8 до 15 %, в середньому становить 12 %, що і прийнято для моделювання.

За аналізом пустотного простору колекції зразків виявлені односпрямована тріщинуватість і кавернозність, які характеризують вторинні зміни, що пов'язані з вертикальними деформаціями. Пори первинного седиментаційного походження також орієнтовані перпендикулярно до осі свердловини.

На основі практичного опису, з узагальненням результатів макро- і мікропетрографічних досліджень порід об'єктами математичної моделі були вибрані:

- модель 1 – вапняк гранулярно-тріщинуватий глинистий (ВГТ);
- модель 2 – вапняк доломітизований гранулярно-тріщинно-кавернозний глинистий (ВДГТК).

Породи складені кальцитом, доломітом, глиною. Класифікація математичних моделей створена на основі кальцитової матриці, включень у вигляді глини трьох різних типів і пустот різного флюїдонасичення: модель ВГТ і модель ВДГТК поділено, у свою чергу, за типом флюїду на водо- (в), газо- (г) і нафтонасичені (н). Моделювали вплив глинистих включень для кожного випадку флюїдонасичення. Включення глини пред-

ставлені трьома типами: іліт (і), каолініт (к), монтморилоніт (м) (табл. 1). Усі включення в породах розміщуються в площині  $X_1X_2$ , крім глини, які поширені в моделі 1 хаотично. Формати пустот та їх концентрація в моделях порід обґрунтовані попередніми дослідженнями авторів: для тріщин  $\alpha = 0,005$  (концентрація 2 %); для пор  $\alpha = 0,9$  (концентрація 10 % для моделі ВГТ та 5 % – для моделі ВДГТК); для каверн  $\alpha = 2010$  (концентрація 5 % для моделі ВДГТ).

Змодельовані породи можна охарактеризувати як вапняки гранулярно-тріщинуваті та доломітизовані гранулярно-тріщинно-кавернозні. В результаті побудовано та обчислено 18 математичних моделей, що характеризують ці породи з точки зору впливу флюїдонасичення та глинистості.

**Результати.** Розроблено математичні моделі карбонатних порід-колекторів Волино-Подільської НГО для вивчення пружних та акустичних властивостей. В процесі математичного моделювання властивостей порід досліджували особливості характеру пустотного простору, зокрема, геометричну форму (пора, тріщина, каверна, формат пустот), насичення (мінералізована вода, газ, нафта), концентрацію та особливості глинистих включень: мінеральний тип (іліт, каолініт, монтморилоніт), концентрацію глини у породі (від 1 до 10 %).

У результаті математичного моделювання отримані акустичні та пружні параметри створених моделей:

- пружні сталі ( $C_{ij}^*$ ) (табл. 2);
- параметри лінійності ( $L_{\mu}$ ) та сланцюватості ( $S_{\mu}$ ) (рис. 2);
- компоненти акустичного тензора  $\mu_{11}, \mu_{22}, \mu_{33}$  (табл. 2);
- інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії  $A_{\mu}$  (рис. 3);
- стереопроєкції, що відображають пружні параметри моделей (фазова швидкість поширення квазіпоздовжньої хвилі, різниця між “швидкою” і “повільною” квазіпоперечними хвилями, диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії, кут відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі) (рис. 4).

Установлено суттєві зміни акустичних і пружних властивостей для моделей різного типу насичення та глини. Орієнтація пустот у моделях визначена за допомогою аналізу співвідношень пружних сталей. Отримане співвідношення пруж-

Таблиця 1. Класифікація моделей складнобудованих карбонатних порід-колекторів з глинистим цементом

Тип насичення пустот	ВГТ			ВДГТК		
	каолініт	монтморилоніт	іліт	каолініт	монтморилоніт	Іліт
Пластова вода	ВГТ <sub>кв</sub>	ВГТ <sub>мв</sub>	ВГТ <sub>ів</sub>	ВДГТК <sub>кв</sub>	ВДГТК <sub>мв</sub>	ВДГТК <sub>ів</sub>
Газ	ВГТ <sub>кг</sub>	ВГТ <sub>мг</sub>	ВГТ <sub>ів</sub>	ВДГТК <sub>кг</sub>	ВДГТК <sub>мг</sub>	ВДГТК <sub>іг</sub>
Нафта	ВГТ <sub>кн</sub>	ВГТ <sub>мн</sub>	ВГТ <sub>ів</sub>	ВДГТК <sub>кн</sub>	ВДГТК <sub>мн</sub>	ВДГТК <sub>ін</sub>

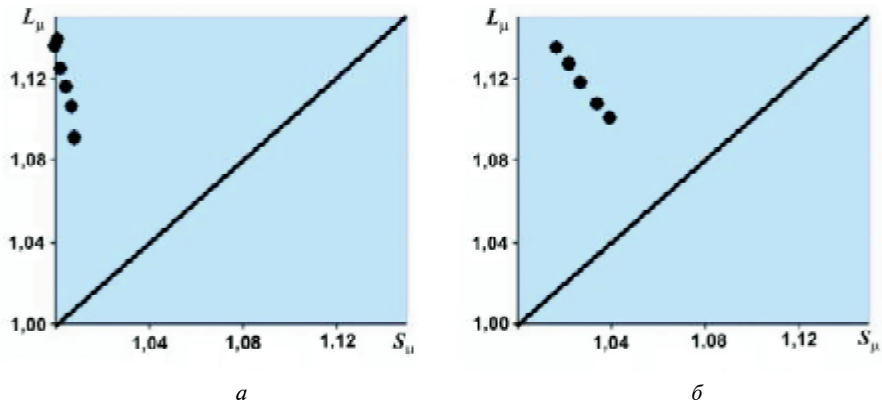


Рис. 2. Визначення пружної симетрії текстури моделей за параметрами лінійності ( $L_{\mu}$ ) і сланцюватості ( $S_{\mu}$ ): а – модель ВГТнг; б – модель ВДГКнг

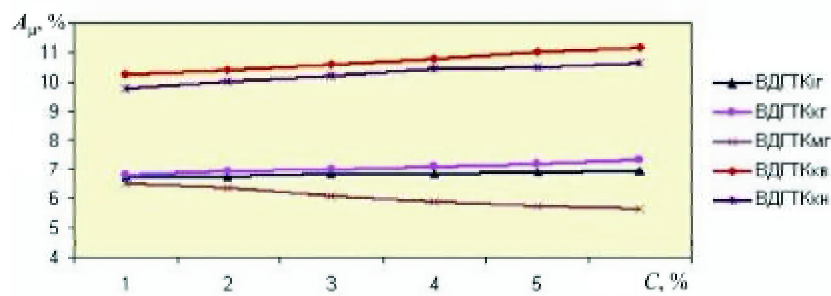


Рис. 3. Залежність інтегрального коефіцієнта акустичної анізотропії  $A_{\mu}$  від концентрації глин ( $C$ )

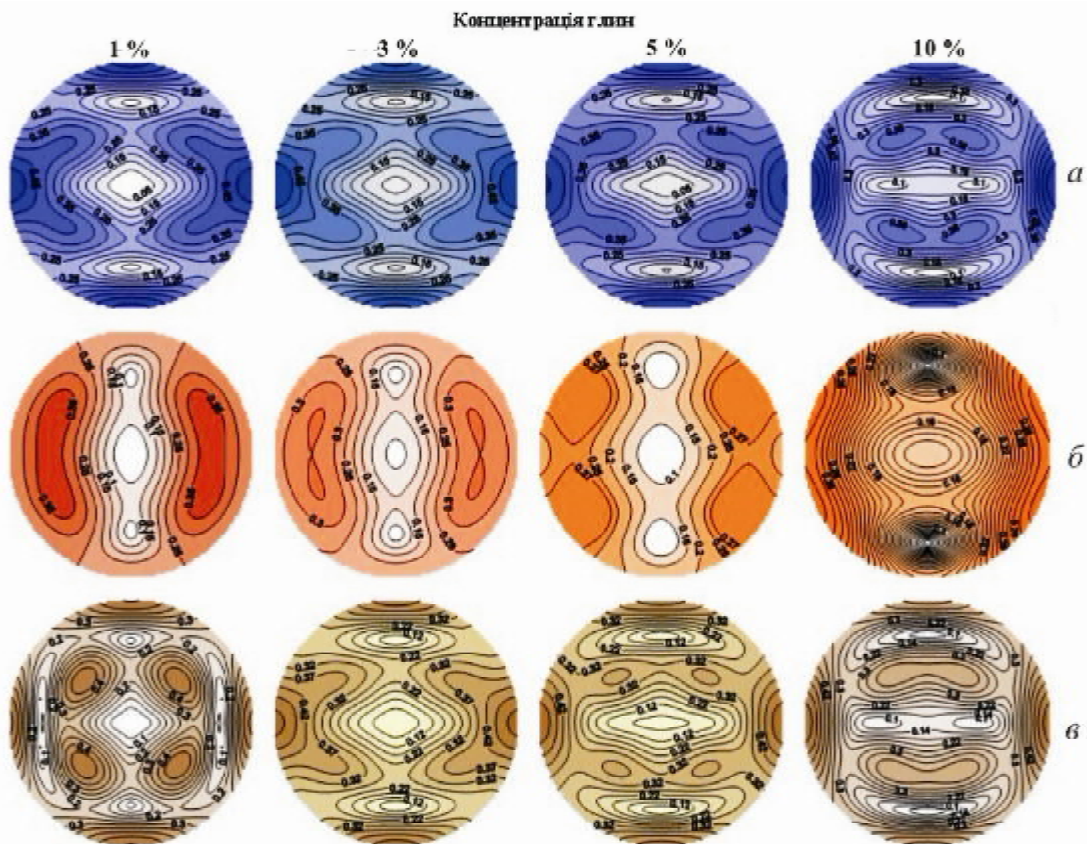


Рис. 4. Порівняльна характеристика стереоекцій ізоліній вказівних поверхонь різниці між швидкостями поширення “швидкої” і “повільної” квазіпоперечних хвиль, км/с, для моделі 1 залежно від концентрацій включення іліту та флюїду. *Важняк:* а – водонасичений; б – газонасичений; в – нафтонасичений

Таблиця 2. Параметри акустичної анізотропії ( $C_{ij}$ ,  $A_{\mu}$ ,  $S_{\mu}$ ,  $L_{\mu}$ ,  $\mu_{ij}$ ) та густина моделі вапняку гранулярно-тріщинуватого з різним вмістом та концентрацією глин і різною флюїдонасиченістю

Параметр анізотропії	Концентрація глин, %										
	1	5	10	1	5	10	1	5	10	5	5
	ВГТів			ВГТін			ВГТіг			ВГТкв	ВГТмв
$C_{11}$	31,65	58,23	60,65	54,02	55,88	57,74	31,65	29,29	31,13	57,27	58,14
$C_{22}$	24,13	42,80	45,21	38,97	39,77	40,57	24,13	23,62	25,78	40,66	43,16
$C_{33}$	27,08	48,56	49,56	45,45	45,77	46,09	27,08	25,15	26,88	45,94	49,56
$C_{44}$	13,01	12,23	12,46	13,02	12,19	11,36	13,01	12,23	12,45	12,42	12,25
$C_{55}$	13,13	12,94	13,84	13,15	12,85	12,55	13,13	12,94	13,83	12,68	12,72
$C_{66}$	16,07	19,48	20,40	19,62	19,12	18,62	16,07	15,00	15,96	19,71	19,26
$C_{12}$	0,85	17,59	18,00	13,89	14,20	14,50	-0,85	0,72	-0,82	15,92	18,51
$C_{13}$	0,03	13,75	13,28	11,95	11,04	10,14	-0,03	-0,34	-0,73	12,92	14,18
$C_{23}$	3,96	17,45	16,77	1,26	14,99	28,72	3,96	1,77	1,01	16,92	17,89
$A_{\mu}$	6,45	9,74	10,19	9,22	9,22	9,22	6,45	5,94	6,12	10,72	9,13
$S_{\mu}$	1,000	1,010	1,029	1,000	1,004	1,010	1,000	1,011	1,019	1,025	1,002
$L_{\mu}$	1,143	1,216	1,215	1,212	1,208	1,205	1,143	1,125	1,124	1,231	1,207
$\mu_{11}$	25,26	35,95	37,59	34,72	34,30	33,87	25,26	23,71	25,21	35,75	35,91
$\mu_{22}$	22,09	29,55	30,93	28,65	28,40	28,15	22,09	21,07	22,44	29,03	29,76
$\mu_{33}$	22,09	29,25	30,05	28,65	28,29	27,93	22,09	20,85	21,99	28,32	29,70
$\rho$	2,41	2,51	2,52	2,49	2,50	2,51	2,40	2,41	2,42	2,51	2,51

них сталих:  $C_{11} > C_{22} > C_{33}$ ;  $C_{44} < C_{55} < C_{66}$  та  $C_{12} > C_{13} > C_{23}$ , за [1], характеризує наявність трьох систем тріщин у досліджуваних породах. Установлено, що в напрямках, де пружні сталі є найбільшими, концентрація орієнтованих тріщин найменша.

Виявлено, що зі збільшенням концентрації глинистої складової збільшується густина моделей, якщо густина глини більша за густину матриці об'єкта, і, відповідно, навпаки (див. табл. 2). На прикладі цих моделей за різними типами флюїдонасичення простежено відмінності у значеннях густин моделей. Мінімальні значення ( $2,41 \text{ г/см}^3$ ) характерні для газонасичених моделей, вони практично не залежать від типу глинистих включень. Середні показники густини ( $2,49 \text{ г/см}^3$ ) притаманні здебільшого моделям з нафтонасиченим пустотним простором, а максимальні значення ( $2,52 \text{ г/см}^3$ ) характеризують водонасичені моделі.

Інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії  $A_{\mu}$ , визначений в результаті математичного моделювання для різновидів моделі ВГТ, змінюється у газонасиченому колекторі у межах від 4,4 до 6,7 %, у водонасиченому – від 1 до 10,7, нафтонасиченому – від 8,6 до 10,1 %. Залежно від концентрації глинистих мінералів величина  $A_{\mu}$  змінюється так. У моделях, де глинисті включення представлені ілітом і каолінітом, цей коефіцієнт поступово збільшується із підвищенням концентрації глин, у зв'язку з тим що включення мають високий ступінь орієнтованості. Зменшення коефіцієнта анізотропії із збільшенням концентрації глин спостерігається у моделей,

до складу яких входить монтморилоніт, що зумовлено структурними та фізичними особливостями мінералу (див. рис. 3).

Під час математичного моделювання компоненти акустичного тензора  $\mu_{11}$ ,  $\mu_{22}$ ,  $\mu_{33}$  переважно зростають із збільшенням концентрації глинистих мінералів (див. табл. 2).

Дослідження параметрів лінійності ( $L_{\mu}$ ) і сланцюватості ( $S_{\mu}$ ) показало, що пружна симетрія текстури моделей – планальна поперечно-ізотропна для всіх різновидів моделей (див. рис. 2), ці параметри анізотропії можна вважати неінформативними.

Пружні характеристики моделей відображено у вигляді стереопроєкцій ізоліній вказівних поверхонь, що відтворюють азимутальну анізотропію пружних хвиль. Цей графічний вид зображення даних кількісно і якісно характеризує вплив глинистості та флюїдонасичення карбонатних порід-колекторів і зміни в значеннях параметрів їх пружної анізотропії в просторі.

Флюїдонасичення особливо впливає на зміни в структурних особливостях моделей, які відображені на стереопроєкціях. У більшості випадків пустоти, насичені газом, мають максимальний вплив на вищеописані пружні параметри.

Залежно від типу та концентрації глинистого мінералу за стереопроєкціями ізоліній пружних параметрів установлено, що відмінності в структурних і кількісних характеристиках спостерігаються насамперед для газонасичених моделей вапняку гранулярно-тріщинуватого. Порівняння моделей ВГТ і ВДГТК виявляє, що більшу диференційованість зображення на стереопроєкціях, як

правило, зумовлює тріщинуватість, ніж кавернозність.

Особливі зміни в структурній будові залежно від типу та концентрації глин спостерігаються в моделі “вапняк газонасичений гранулярно-тріщинуватий” з включенням іліту. Вони найкраще проявляються в характері поширення на стереопроєкції кута відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі, значення якого коливаються в межах від  $0^\circ$  до  $9,5^\circ$ .

У середньому швидкість поширення квазіповдовжньої хвилі для різновидів моделей ВГТв змінюється від мінімального значення 3,95 км/с (включення – каолініт) до 4,9 км/с (включення – іліт); ВГТг – від 3,0 км/с (включення – каолініт) до максимального значення 3,6 км/с (включення – іліт); ВГТн відповідно – від 3,8 км/с (включення – каолініт) до 4,75 км/с (включення – іліт). Цей самий параметр для моделей “вапняк доломітизований гранулярно-тріщинно-кавернозний водонасичений” коливається в межах  $V_{\min} = 4,65$ ,  $V_{\max} = 5,55$  км/с (включення – монтморилоніт); газонасичений – від 3,8 до 4,48 км/с.

Різниця між швидкостями поширення “швидкої” та “повільної” квазіпоперечних хвиль для моделей тріщинуватого водонасиченого вапняку становить від 0 до 0,64 км/с (включення – вода, з концентрацією каолініту 10 %), газонасиченого – від 0 до 0,4 км/с; для моделей кавернозного водонасиченого вапняку – від 0 до 0,46 км/с (включення – іліт, каолініт); газонасиченого – від 0 до 0,26 км/с (див. рис. 4).

Один з найважливіших параметрів – диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії – змінюється для моделей вапняку тріщинуватого водонасиченого від 0 до 17 % (включення – каолініт), газонасиченого – від 0 до 12,5 %. Для моделей кавернозного водонасиченого вапняку коефіцієнт пружної анізотропії коливається від 0 до 13,5 % (включення – каолініт), газонасиченого – від 0 до 9,5 %.

Кут відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі на стереопроєкціях моделей тріщинуватого водонасиченого вапняку змінюється від  $0^\circ$  до  $11^\circ$ , газонасиченого – від  $0^\circ$  до  $13,5^\circ$ , для моделей вапняку кавернозного водонасиченого і газонасиченого – від  $0^\circ$  до  $9,5^\circ$ . За результатами аналізу стереопроєкцій встановлено, що кут відхилення вектора пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі має найбільше значення ( $0^\circ$ – $13,5^\circ$ ) для моделі вапняку тріщинуватого газонасиченого з включеннями каолініту, також підвищені значення цього параметра притаманні нафтонасиченим моделям. Для решти моделей незалежно від флюїдонасичення кут відхилення становить від  $0^\circ$  до  $9,5^\circ$ .

Кількість та напрям (характер) розташування мінімумів і максимумів, що вказує на ступінь

складності структури породи, є досить важливою характеристикою стереопроєкцій ізоліній вказівних поверхонь: на стереопроєкціях спостерігаються осі симетрії мінімумів і максимумів. Представлені моделі ВГТ та ВДГТК досить помітно відрізняються одна від одної. Доведено, що вапняк тріщинуватий газонасичений має складнішу будову порівняно з іншими моделями, які розрізняються також за типом глин і характером насичення. Визначено, що складнішу будову мають моделі вапняку гранулярно-тріщинуватого газонасиченого, оскільки наявна велика кількість осей симетрії, максимумів і мінімумів. Складну будову за результатами стереопроєкцій також виділено у вапняку гранулярно-тріщинуватого з пустотами, насиченими нафтою з включеннями іліту та каолініту (див. рис. 4).

**Висновки.** Обґрунтовано та розроблено математичну модель складнопобудованого карбонатного колектору, яка характеризує девонські колектори Волино-Подільського регіону. Досліджені акустичні та пружні характеристики 18 різновидів моделей залежно від типу та концентрації включень, представлених глинистими мінералами (іліт, каолініт, монтморилоніт) та пустотами різних форматів і флюїдонасичення (вода, нафта, газ).

Диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії ( $A_d$ ) є найінформативнішим параметром анізотропії. Його значення змінюються від 0 до 17, насамперед залежно від типів пустотного простору (максимальні значення в цілому для моделі ВГТ – 17 % порівняно з моделлю ВДГТК – 9,5 %), типу флюїду (максимальні значення  $A_d$  відповідають водонасиченим різновидам (17 %), мінімальні – газонасиченим (12,5 %)). Досить суттєво впливають також тип і концентрація глин (максимальні значення  $A_d$  – для каолінітових різновидів моделей; із збільшенням концентрації глини від 1 до 10 % величина  $A_d$  підвищується максимально на 5,5 %), тому що структурні особливості мінералу є чинниками, які можуть визначати ступінь анізотропії породи в цілому.

Інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії  $A_u$  є також одним з найінформативніших параметрів (для різновидів моделі ВГТ коливається у газонасиченому колекторі в межах 4,4–6,7 %, у водонасиченому – 9,1–10,7, нафтонасиченому – 8,6–10,1 %). У моделях, де глинисті включення представлені ілітом і каолінітом, із збільшенням концентрації глин величина  $A_u$  поступово збільшується (на 0,4–2,3 %), а для різновидів, до складу яких входить монтморилоніт, – зменшується (на 0,5–2 %). Установлено, що орієнтовані тріщини в середовищі мають більший вплив на коефіцієнти анізотропії, ніж каверни чи пори.

Для обґрунтування інтерпретаційних моделей “кern–кern”, “кern–ГДС” математичне моделю-



вання пружних і акустичних параметрів з урахуванням їх анізотропії є важливим етапом. Отримані результати можуть бути використані під час інтерпретації геофізичних даних для пошуків і розвідки нафто-, газо- й водонасичених порід-колекторів із різним типом глинистості, а також для складання банку даних математичних моделей складнопобудованих карбонатних порід Волино-Поділля.

1. *Александров К.С., Продайвода Г.Т.* Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 354 с.

2. *Вишва С.А., Продайвода Г.Т., Безродна І.М.* Петрофізичні дослідження як основа для розробки моделі структури пустотного простору складнопобудованих карбонатних порід-колекторів // Перспективи нарощування та збереження енергетичних ресурсів України: Зб. наук. праць. – Ів.-Франківськ: Факел, 2006. – С. 110–121.
3. *Козлов Е.А.* Модели среды в разведочной сейсмологии. – Тверь: ГЕРС, 2006. – 480 с.
4. *Вишва С.А., Безродна І.М. та ін.* Петрофізичні і літолого-петрографічні дослідження зразків ядра порід девону і силуру Волино-Поділля / Звіт про НДР КНУ. – Київ, 2010.

*Надійшла до редакції 23.02.2011 р.*

*С.А. Вишва, І.М. Безродна, Т.М. Кузьменко*

#### **АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФЛЮІДОНАСИЧЕННЯ І ГЛИНИСТОСТІ НА ПРУЖНІ ТА АКУСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕВОНСЬКИХ КАРБОНАТНИХ КОЛЕКТОРІВ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ**

Розглянуто математичну модель складнопобудованих водо-, газо- і нафтонасичених карбонатних колекторів девону Волино-Подільського регіону із різними мінеральним складом, типом і концентрацією глин та структурою пустотного простору. Встановлено, що для вивчення характеру насичення, типу пористості, вмісту різних типів глин, їхньої концентрації коефіцієнти диференціальної анізотропії та параметри інтегральної анізотропії – найкращі індикатори з усіх досліджених параметрів анізотропії.

**Ключові слова:** математична модель, карбонатний колектор, флюїдонасичення, глини.

*С.А. Вышва, И.Н. Безродная, Т.М. Кузьменко*

#### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФЛЮИДОНАСЫЩЕНИЯ И ГЛИНИСТОСТИ НА УПРУГИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕВОНСКИХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ВОЛЫНО-ПОДОЛИИ**

Рассмотрена математическая модель сложнопостроенного водо-, газо- и нефтенасыщенных карбонатных коллекторов девона Волино-Подольского региона с различными минеральным составом, типом и концентрацией глин и структурой пустотного пространства. Установлено, что для изучения характера насыщения, типа пористости, содержания разных типов глин, их концентрации коэффициенты дифференциальной анизотропии и параметры интегральной анизотропии – наилучшие индикаторы из всех исследованных параметров анизотропии.

**Ключевые слова:** математическая модель, карбонатный коллектор, флюидонасыщенность, глины.