

Після співставлення цих поверхонь з геологічною та структурно-тектонічною картами (рис. 2) встановлено ряд закономірностей. По-перше, рисунок та форма ізобазит з 2-го по 6-й порядок базисних поверхонь мають суттєві відмінності. Якщо врахувати той факт, що форми базисних поверхонь різних поверхонь змінюються внаслідок зміни напрямку чи інтенсивності тектонічних рухів у результаті перебудови долинних систем, можна припустити про неодноразову зміну тектонічних режимів на території. По-друге, відмічено відповідність рисунків ізобазит геологічним формаціям. Чітко проглядаються обриси стратовулканів Сняк (північний захід) та Борлів Діл (південь) на різних гіпсометричних рівнях від 2-го до 4-го порядків базисних поверхонь. Слід зазначити, що на карті базисної поверхні 5-го порядку проглядається лише кільцева структура стратовулкану Сняк, ізобазити на місці просторового положення вулкану Борлів Діл більш виположені. З цього можна припустити, що стратовулкан Сняк за віком утворення більш давній. Загалом спостерігається певна закономірність: чим менший порядок базисної поверхні, тим детальніше форми ізобазит описують геологічні тіла в плані, і навпаки, чим вищий порядок поверхонь, тим більш суттєві відмінності в рисунках ізобазит. Ці розбіжності можна пояснити тим, що базисні поверхні високих порядків (5-го та 6-го) наближаються за формою до рівневої поверхні і відображають розподіл мас в земній корі і верхній мантії та значення геопотенціалу, яке було на території до зміни тектонічного режиму. По-третє, аналізуючи характер ізобазит, були виявлені місця їх згущення чи розходження, а також лінійно-витягнуті ділянки, які в просторі збігаються з розломами та дислокаційними структурами.

Висновки. Визначення основних принципів та методологічних основ структурно-морфометричного аналізу дало можливість застосувати класичну методіку структурної морфометрії для вивчення гірського рельєфу Українських Карпат, а також адаптувати її до середовища ГІС з використанням функціональних можливостей просторового аналізу та моделювання. Проведені дослідження підтверджують взаємозв'язок рельєфу з геологічною та структурно-тектонічною будовою і дають можливість поетапно прослідкувати його еволюцію з виявленням локальних тектонічних структур та геодинамічних обстановок в неотектонічну епоху в межах Карпатського модельного полігону. Оскільки рельєф виступає інтегральним відображенням неотектонічних рухів, процесів денудації, акумуляції, а також локальних геологічних факторів, його вивчення є основою для прогнозування небезпечних геологічних процесів.

Список використаних джерел

1. Іванік О. Застосування класичних методик структурно-морфометричного аналізу для реконструкції новітнього тектогенезу на основі ГІС / О. Іванік, Л. Тустановська // Вісник Київського національного університету. Серія геологічна. – 2011. – Вип. 53. – С. 4–7.
2. Обнаружение и исследование зон новейших движений земной коры инструментами ГИС [Электронный ресурс] / И. Ю. Чернова, Д. И. Хасанов, И. Я. Жарков [и др.] // Arcview. – 2005. – № 1 (32). – Режим доступа до журн.: http://esricis.ru/news/arcview/detail.php?ID=1833&SECTION_ID=49.
3. Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур / В.П. Философов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1960. – 93 с.
4. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур / В.П. Философов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 232 с.
5. Хромых В. В. Цифровые модели рельефа: учебное пособие / В. В. Хромых, О. В. Хромых. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 178 с.

Надійшла до редколегії 13.02.13

Т. Андриец, асп.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРУКТУРНО-МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА (НА ПРИМЕРЕ КАРПАТСКОГО МОДЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА)

Приведена характеристика базовых принципов структурно-морфометрического анализа для исследований новейшего тектогенеза. Продемонстрирована возможность применения классической методики для горных областей с использованием функциональных возможностей среды ГИС (пространственного анализа и моделирования). На примере Украинских Карпат проведены исследования по определению главных морфометрических характеристик рельефа. Анализ базисных поверхностей позволил проследить особенности проявления в рельефе локальных тектонических структур, их конфигурацию в плане на разных гипсометрических уровнях.

T. Andriets, PhD student

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF STRUCTURAL AND MORPHOMETRIC ANALYZES OF MOUNTAIN RELIEF (CASE STUDY FROM CARPATHIAN MODELING POLYGON)

Consideration is given to the structure-morphometric analysis base principles for the latest tectogenesis studying. The possibility of classic technique application for mountain regions in using GIS-technologies (Spatial Analysis and Spatial Modeling) has been shown. Initial stages determination morphometric relief indexes by example the Ukrainian Carpathians have been carried out. Basic surfaces analysis is permitted to observe local tectonic structures in relief and their configuration on difference hypsometric levels.

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.83:552.1:537

С. Вижва, д-р геол. наук, Д. Онищук, асп.,

В. Онищук, канд. геол. наук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка Київ

ПЕТРОЕЛЕКТРИЧНА МОДЕЛЬ ОСНОВНИХ ТИПІВ ПОРІД КЕМБРІЮ ВОЛОДИМИРСЬКОЇ ПЛОЩІ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії канд. геол. наук, с.н.с. І.М. Безродною)

Розглянуто результати та особливості методики петроелектричних досліджень при вивченні складнопобудованих теригенних та карбонатних колекторів. Наведено результати визначення електричних параметрів та їх зв'язок з емнісними властивостями пісковиків, вапняків та доломітів кембрію Володимирської площі Волино-Поділля. Побудовані їх петроелектричні моделі.

Вступ. Кореляційні зв'язки між емнісно-фільтраційними характеристиками і даними свердловинних та

польових геофізичних методів є досить складними і потребують ретельного вивчення. Комплексні лабораторні

© Вижва С., Онищук Д., Онищук В., 2013

петрофізичні досліджень є основою для визначення цих зв'язків. При цьому одним із найбільш інформативних параметрів при визначенні геоелектричних властивостей гірських порід є питомий електричний опір (ρ). Цей параметр визначається: речовинним складом та текстурою породи; структурою ємнісного простору; її нафто-, газо- та водонасиченістю; коефіцієнтом пористості; мінералізацією пластових вод; температурою та тиском [1-8].

Метою даних досліджень було розробка та створення петроелектричних моделей порід-колекторів, як основи комплексного аналізу їх електричних параметрів та зв'язків з ємнісно-фільтраційними властивостями. Визначення питомого електричного опору порід-колекторів виконується для уточнення меж його зміни для окремих типів і груп порід; виділення окремих стратиграфічних горизонтів, розрізів та фацій; встановлення характеру залежності його від мінерального складу, структури порового простору, співвідношення фаз речовини, частоти і напруженості електричного поля; виявлення характеру зміни електричного опору при епігенетичному перетворенні та метаморфічних змінах гірських порід.

Матеріали, отримані в результаті лабораторних досліджень про зміни питомого електричного опору порід, використовуються при інтерпретації результатів електрометричних методів досліджень свердловин та польової електророзвідки.

В статті представлені результати та особливості лабораторних петроелектричних досліджень пісковиків, вапняків та доломітів кембрію перспективної на вуглеводні Володимирської площі (свердловини Володимирська-1 та Володимирська-2, інтервал 1190–2520 м). Площа розташована в північній частині східного борту Львівського палеозойського прогину Волино-Подільського закінчення Східноєвропейської платформи.

Породи з дослідженого інтервалу представлені відкладами кембрію – переважно різнозернистими пісковиками, вапняками та доломітами.

Експериментальні дослідження. Комплекс експериментальних лабораторних досліджень включав визначення: густини досліджених порід (сухих та насичених моделлю пластової води); відкритої пористості (ме-

тодами насичення азотом та моделлю пластової води); коефіцієнта залишкового водонасичення (методом центрифугування); проникності (методом стаціонарної фільтрації азоту); інтервального часу (швидкості повздовжніх пружних хвиль) та питомого електричного опору. В процесі лабораторних робіт визначався питомий електричний опір зразків порід при різних умовах (сухі, неповністю та повністю насичені розчиним імітатором пластового флюїду) в атмосферних умовах, а також в умовах наближених до пластових.

Лабораторні електрометричні вимірювання сухих зразків керну виконані при температурі 20°C за допомогою цифрового тераомметра С.А 6547, який дозволяє виконувати високоточні вимірювання електричного опору в діапазоні від 10 кОм до 10 ТОм з цифровим записом на ЕОМ за спеціальною програмою на постійному струмі по двохелектродній схемі [4-7]. Для вимірювання зразків, насичених розчином NaCl ($M=30$ г/л) застосовувався, RCL-метр МНС-1100. Циліндричні зразки для вимірювання розташовувались у спеціальному кернотримачі з електродами, що не поляризуються, які виготовлені із спеціальної графітізованої гуми. З метою визначення залежності петрофізичних параметрів від ступеню водонасиченості (а отже газонафтонасиченості) порід виконані дослідження зміни питомого електричного опору при відгоні води на центрифугу ОС-6М. Петроелектричні дослідження при центрифугуванні виконувались шляхом серії вимірювань електричного опору насичених зразків моделлю пластової води: до центрифугування та після центрифугування при режимах відгонки від 1000 до 6000 об/хв з кроком 1000 об/хв, тиск витіснення води змінюється від 0,2 до 1,00 МПа (7 циклів вимірювань). Паралельно визначались коефіцієнт водонасичення та швидкість пружних хвиль. Середня відносна похибка визначення електричного опору склала 2,4 %.

Аналіз даних. У результаті виконаних лабораторних петрофізичних досліджень визначено фільтраційно-ємнісні та електричні параметри основних типів порід межі змін яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фільтраційно-ємнісні та електричні параметри основних типів порід

№ з-п	Порода	Вік	Значення параметра	Густина, кг/м ³		Відкрита пористість, %		Проникність, фм ²	Коеф. залишк. водонас.	Питомий електричний опір, Ом·м		Відносний опір
				сухі	насич. NaCl	азот	насич. NaCl			сухі	нас. NaCl	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Вапняки	Є	min	2661	2673	0,01	0,002	0,001	0,03	131110	50,5	143,9
2	Вапняки	Є	max	2699	2704	0,025	0,013	3,479	0,67	6588358	72,9	207,6
3	Вапняки	Є	серед	2690	2695	0,016	0,006	0,442	0,269	1423156	66,2	188,6
4	Доломіти	Є	min	2690	2694	0,017	0,005	0,001	0,3	146508	28,7	81,7
5	Доломіти	Є	max	2845	2854	0,046	0,038	0,002	0,65	24441890	69,8	198,7
6	Доломіти	Є	серед	2753	2766	0,026	0,017	0,001	0,41	6411826	54,6	155,6
7	Пісковики	Є	min	2116	2222	0,054	0,044	0,005	0,27	51610	7,2	20,4
8	Пісковики	Є	max	2486	2526	0,13	0,116	1,067	0,86	11127988	30	85,5
9	Пісковики	Є	серед	2290	2361	0,089	0,077	0,139	0,71	3647329	15,5	44,1

За результатами лабораторних вимірювань встановлено, що значення питомого електричного опору виміряні на сухих екстрагованих зразках (питомий електричний опір мінерального скелету) змінюється від 51610 (пісковики) до 24441890 Ом·м (доломіти) при середньому значенні 3827440 Ом·м. При цьому спостерігаються значні варіації значень питомого опору зразків, що пояснюється неоднорідностями в тектурі порід (наявність глинистих і піщаних прошарків та їх невпорядкованість). Питомий електричний опір зразків порід насичених моделлю пластової рідини (розчин NaCl) змінюється від 7,2 (пісковики) до 73 Ом·м (вапняки) при середньому значенні 45 Ом·м.

За матеріалами виконаних лабораторних досліджень побудовані кореляційні залежності (рис. 1а, 1б, 1в) між коефіцієнтом пористості (k_{II}) і відносним електричним опором (P) типу $P = a \cdot k_{II}^{-m}$ – рівняння Арчі-Дахнова для пісковиків, вапняків та доломітів, відповідно, де a – постійний коефіцієнт, m – структурний показник.

Визначені рівняння Арчі-Дахнова мають вигляд: $P = 1,675 \cdot k_{II}^{-1,224}$ при $R^2=0,835$ (пісковики), $P = 41 \cdot k_{II}^{-0,273}$, при $R^2=0,77$ (вапняки), $P = 37,6 \cdot k_{II}^{-0,33}$, $R^2=0,74$ (доломіти), де $P = \rho_{пв}/\rho_{в}$, $\rho_{пв}$ – питомий електричний опір повністю водонасичених порід, $\rho_{в}$ – питомий електричний опір пластової води.

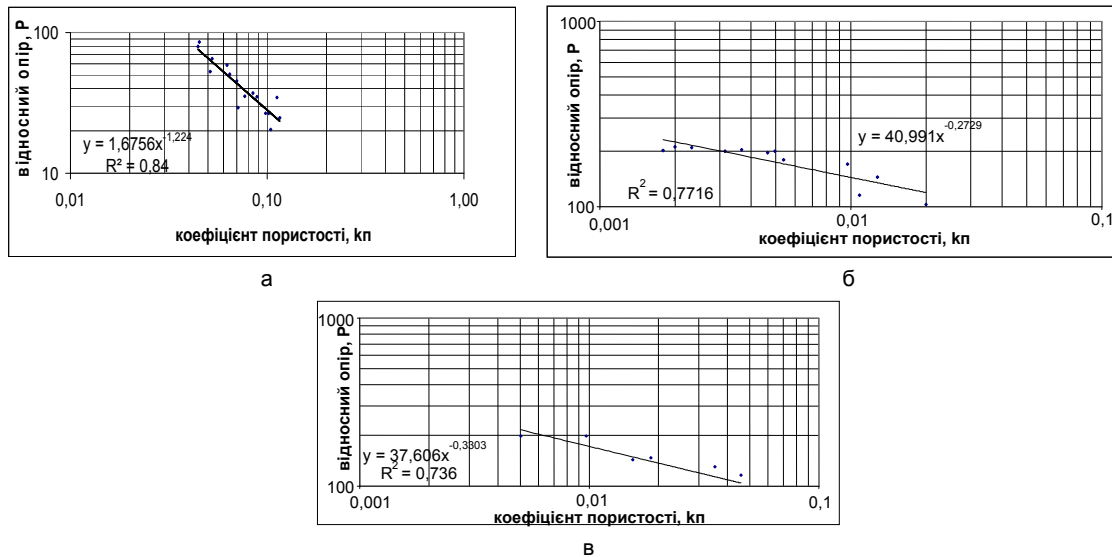


Рис. 1. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості (k_p) і відносним електричним опором (P) – рівняння Арчі-Дахнова (лабораторні умови): а – пісковики, б – вапняки, в – доломіти

У результаті аналізу отриманих даних встановлено, що пісковики мають діапазон зміни відносного електричного опору від 20,4 до 85,5 при середньому значенні 44,1. Відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта пористості складає від 0,089 до 0,116 при середньому значенні 0,077. Для вапняків діапазон зміни відносного електричного опору складає від 143,9 до 207,6 при середньому значенні 188,6, а коефіцієнта пористості – від 0,002 до 0,015 при середньому значенні 0,008. Для доломітів діапазон зміни відносного електричного опору складає від 81,7 до 198,7 при середньому значенні 155,6, а коефіцієнта пористості – від 0,005 до 0,038 при середньому значенні 0,017.

Для вапняків та доломітів Володимирської площі, коефіцієнт a складає, відповідно, 41 і 36,6, а структурний показник m – 0,273 і 0,33, тобто досить близькі між собою. Для пісковиків Володимирської площі, коефіцієнт a складає, 1,675, а структурний показник m – 1,124, що різко відрізняються від значень для попередніх порід.

У процесі експериментальних лабораторних досліджень на центрифугі ОС-6М та статистичного аналізу даних петроелектричних вимірювань встановлені кореляційні залежності типу $P_H = b \cdot k_e^{-n}$ – параметра збільшення електричного опору (P_H) від коефіцієнта водонасичення (k_e) для досліджених порід. Кореляційні залежності мають вигляд: для пісковиків (P_H) – $P_H = 1,067 \cdot k_e^{-0,925}$, при $R^2=0,82$, для вапняків залежність має вигляд: (P_H) – $P_H = 1,09 \cdot k_e^{-0,86}$, при $R^2=0,82$; для доломітів залежність виглядає як: (P_H) – $P_H = 1,003 \cdot k_e^{-0,864}$, при $R^2=0,79$ де – $P_H = \rho_{нв}/\rho_{пв}$, $\rho_{нв}$ – питомий електричний опір неповністю водонасичених порід, $\rho_{пв}$ – питомий електричний опір повністю водонасичених порід. Ці кореляційні залежності наведені на рис. 2а, 2б та 2в.

Аналіз отриманих даних показує, що пісковики мають діапазон зміни параметра збільшення електричного опору від 1 до 3,24 при середньому значенні 1,24. Відповідний цьому діапазон зміни коефіцієнта водонасичення складає від 1 до 0,29 при середньому значенні 0,88. Для вапняків діапазон зміни P_H складає від 1 до 7,19 при середньому значенні 2,24, а коефіцієнта водонасичення – від 1 до 0,15 при середньому значенні 0,6; для доломітів діапазон зміни P_H складає від 1 до 2,76 при середньому значенні 1,44, а відповідний цьому діапазону коефіцієнт водонасичення змінюється від 1 до 0,33 при середньому значенні 0,72.

Слід відмітити, що для досліджених порід коефіцієнт b в кореляційному рівнянні типу $P_H = b \cdot k_e^{-n}$, що виражає зв'язок між коефіцієнтом водонасичення і параметра збільшення електричного опору, змінюється від 1,003 (доломіти) до 1,09 (вапняки), а показник змочуваності n від 0,86 (вапняки) до 0,925 (пісковики). За цими параметрами досліджені породи мало диференційовані.

З метою оцінки питомого електричного опору порід в пластових умовах виконані комплексні дослідження на спеціальній установці високого тиску ВСЦ-1000 при зміні тиску від атмосферного до 59 МПа. У результаті аналізу отриманих даних встановлено, що внаслідок закриття мікротріщин та деформації порового простору електричний опір порід зростає із збільшенням тиску. Визначено залежність середнього значення коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q) від тиску (p) для пісковиків та вапняків, що виражається поліномами 3 і 4 порядку:

$$Q = 1 \cdot 10^{-5} p^3 - 13 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 5,9 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0,9993, \text{ при } R^2=0,99 \text{ (пісковики),}$$

$$Q = -8 \cdot 10^{-6} \cdot p^4 + 9 \cdot 10^{-4} \cdot p^3 - 3,06 \cdot 10^{-2} \cdot p^2 + 4,045 \cdot p + 0,3645, \text{ при } R^2=0,97 \text{ (вапняки).}$$

Графіки цих залежностей представлені на рис. 3а та рис. 3б.

Аналіз отриманих даних показує, що пісковики мають діапазон зміни коефіцієнта збільшення опору від 1 до 2,12 при збільшенні всебічного тиску від атмосферного до 59 МПа. Для вапняків діапазон зміни коефіцієнта збільшення опору складає від 1 до 7,7 при збільшенні всебічного тиску від атмосферного до 49 МПа.

Розгляд графіків цих залежностей дозволяє виділити три ділянки з різним характером зміни питомого електричного опору. На 1 ділянці в діапазоні зміни тиску від атмосферного до 24,5 МПа спостерігається досить значний ріст коефіцієнта збільшення опору, для пісковиків – до 1,8. Цей процес може бути викликаний інтенсивним закриттям мікротріщин, що зменшує канали провідності. Наступний діапазон зміни тиску від 24,5 до 44 МПа характеризується деякою стабілізацією зміни електричного опору. При цьому коефіцієнт збільшення опору змінюється від 1,8 до 2 для пісковиків. У діапазоні

зміни тиску від 44 до 59 МПа спостерігається ріст коефіцієнта збільшення опору з меншою інтенсивністю ніж у першому діапазоні, але з більшою ніж у другому. Процес повільного росту коефіцієнта збільшення опору в 2 та 3 діапазонах (ділянках) може бути викликаний порівняно меншими (ніж у першому діапазоні) деформаціями порового простору, що ускладнює та перериває канали провідності. Для вапняків на 1 ділянці (тиск зростає від

атмосферного до 9,8 МПа) коефіцієнт збільшення опору змінюється від 1 до 2. В інтервалі зміни тиску від 9,8 до 29 МПа спостерігається деяка стабілізація зміни електричного опору. При збільшенні тиску понад 30 МПа відбувається різке збільшення коефіцієнта збільшення опору (до 7,7 при тиску 59 МПа), що ймовірно пов'язано з різким закриттям основних тріщин відповідальних за електричну провідність.

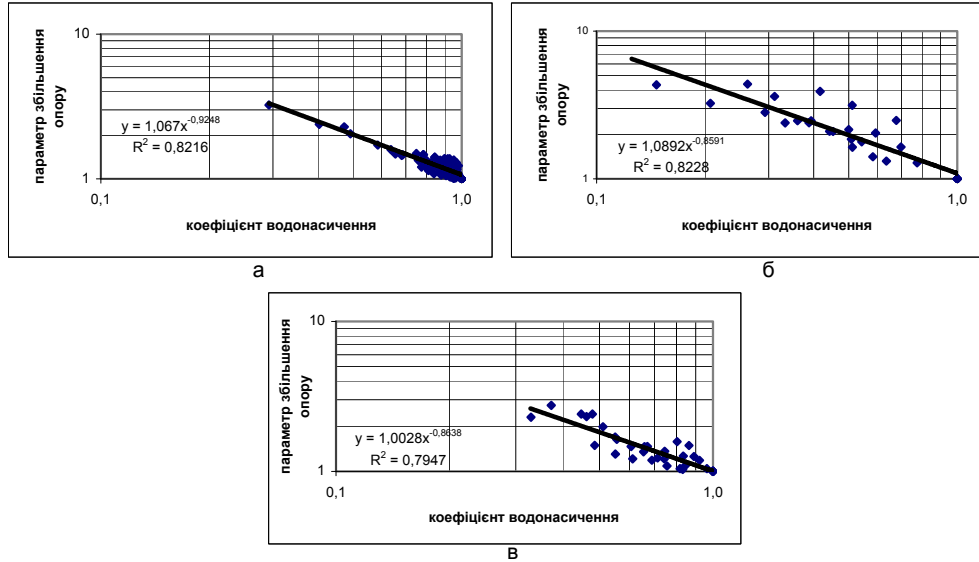


Рис. 2. Кореляційна залежність між коефіцієнтом водонасичення (k_v) та параметром збільшення електричного опору (P_n): а – пісковики, б – вапняки, в – доломіти

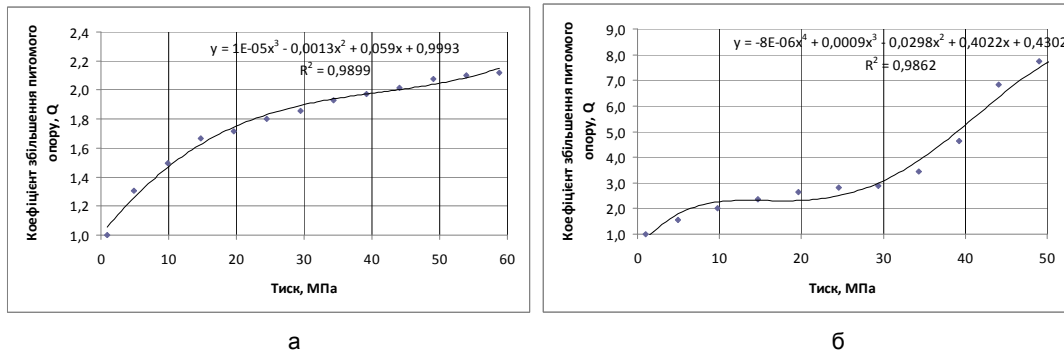


Рис. 3. Кореляційна залежність коефіцієнта збільшення питомого електричного опору (Q) від тиску (p): а – для пісковиків, б – для вапняків

Отримані дані при вимірюваннях питомого електричного опору під тиском дали можливість оцінити його значення для досліджених порід в пластових умовах. За матеріалами петроелектричних досліджень при високих тисках встановлена залежність між коефіцієнтом

пористості ($k_{п,пл}$) та параметром пористості ($P_{пл}$) в пластових умовах. Визначене рівняння Арчі-Дахнова для пісковиків кембрію має вигляд (рис. 4): $P_{пл} = 1,365 \cdot k_{п,пл}^{-1,519}$, при $R^2=0,92$.

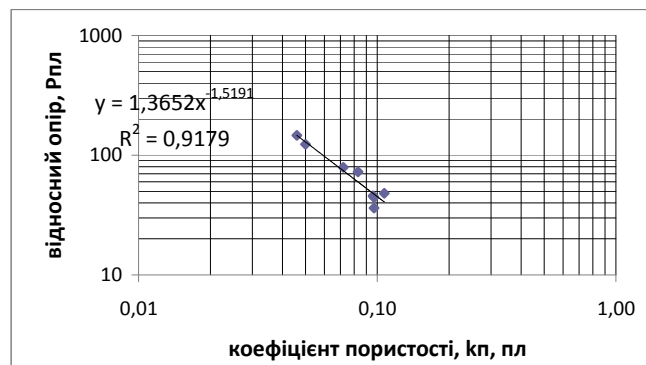


Рис. 4. Кореляційна залежність між коефіцієнтом пористості ($k_{п,пл}$) та параметром пористості ($P_{пл}$) в пластових умовах для пісковиків кембрію

Для оцінки електричної анізотропії виконані вимірювання електричного опору за "напластуванням" і вхрест "напластування". Коефіцієнт електричної анізотропії λ визначався за допомогою формули: $\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_l}}$, де ρ_n , ρ_l – питомий електричний опір вхрест і за "напластуванням", відповідно.

У результаті аналізу отриманих даних визначено, що коефіцієнт анізотропії сухих екстрагованих пісковиків змінюється від 1,01 до 1,09 при середньому значенні 1,05. Коефіцієнт анізотропії пісковиків, насичених роз-

чином NaCl, змінюється від 1,05 до 1,18 при середньому значенні 1,12.

Комплексний аналіз сукупності петрофізичних даних був основою при визначенні петроелектричних моделей різнозернистих пісковиків, вапняків та доломітів. Петроелектрична модель у даній роботі представлена у вигляді геоелектричної інформації та кореляційних залежностей між петроелектричними параметрами та фізичними властивостями досліджених порід Володимирської площі, що зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Петроелектричні моделі порід (свердловини Володимирська-1 та Володимирська-2, інтервал 1190–2520 м) Володимирської площі

№ з/п	Петроелектричний параметр/ Кореляційна залежність	Межі зміни параметра (середнє)/ Кореляційне рівняння (коэф. кореляції)		
		Пісковики	Вапняки	Доломіти
1	2	3	4	5
1	Питомий електричний опір сухих порід	51610 – 11127988 (3647330)	131110 – 6588360 (1423160)	146510 – 24441890 (6411830)
2	Питомий електричний опір порід, насичених моделлю пластової води	7,2 – 30 (17,6)	50,5 – 72,9 (63,2)	28,7 – 69,8 (51)
3	Відносний електричний опір (P) при лабораторних умовах	20,4 – 85,5 (50)	143,9 – 207,6 (180)	81,7 – 198,7 (145)
4	Відносний електричний опір (P _{пл}) при пластових умовах	36–146 (75)	-	-
5	Залежність Арчі-Дахнова (лабораторні умови)	$P = 1,675 \cdot k_{II}^{-1,224}$ при R ² =0,835	$P = 41 \cdot k_{II}^{-0,273}$ при R ² =0,77	$P = 37,6 \cdot k_{II}^{-0,33}$ при R ² =0,74
6	Залежність Арчі-Дахнова (пластові умови)	$P_{пл} = 1,365 \cdot k_{II,пл}^{-1,519}$ при R ² =0,92	-	-
7	Коефіцієнт електричної анізотропії сухих екстрагованих порід	1,01 – 1,09 (1,05)	-	-
8	Коефіцієнт електричної анізотропії порід, насичених моделлю пластової води	1,05 – 1,18 (1,12)	-	-
9	Параметр збільшення електричного опору (P _n)	1 – 3,24 (1,24)	1 – 7,19 (2,24)	1 – 2,76 (1,44)
10	Кореляційна залежність між коефіцієнтом водонасиченості (k _в) та параметром збільшення електричного опору (P _n)	$P_H = 1,067 \cdot k_v^{-0,925}$ при R ² =0,82	$P_H = 1,09 \cdot k_v^{-0,86}$ при R ² =0,82	$P_H = 1,003 \cdot k_v^{-0,864}$ при R ² =0,79
11	Кореляційна залежність коефіцієнта збільшення питомого опору порід (Q) від тиску (p)	$Q = 1 \cdot 10^{-5} p^3 - 13 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 5,9 \cdot 10^{-2} \cdot p + 0,9993$ при R ² =0,99	$Q = -8 \cdot 10^{-6} \cdot p^4 + 9 \cdot 10^{-4} \cdot p^3 - 3,06 \cdot 10^{-2} \cdot p^2 + 4,045 \cdot p + 0,3645$ при R ² =0,97	-
12	Коефіцієнт збільшення електричного опору при збільшенні всесічного тиску від атмосферного до 59 МПа	1 – 2,12	1 – 7,7	-

Висновки. Аналіз наведених даних свідчить про те, що електрометричні методи є потужним засобом як лабораторних так і польових досліджень, досить ефективні і надають широку та цінну інформацію про властивості порід. Петроелектричні дослідження займають важливе місце у петрофізичному комплексі і широко застосовуються при вивченні фізичних властивостей гірських порід і руд з метою встановлення їх складу, структури і стану при вирішенні різноманітних завдань при пошуках і розвідці родовищ корисних копалин, особливо у нафтової геології.

У процесі експериментальних лабораторних досліджень вивчені петроелектричні параметри основних типів порід кембрію Володимирської нафтогазоперспективної площі, встановлені емпіричні кореляційні залеж-

ності між петроелектричними параметрами та ємкісно-фільтраційними властивостями пісковиків, вапняків та доломітів, що слугують основою геологічної інтерпретації геофізичних даних. Ці залежності апроксимуються степеневую функцією.

На базі комплексного аналізу виконаних петроелектричних досліджень всієї наявної геолого-геофізичної інформації визначено петроелектричні моделі пісковиків, вапняків та доломітів. Аналіз розроблених петроелектричних моделей пісковиків, вапняків та доломітів кембрію показує, що вони суттєво розрізняються за електричними параметрами. Впровадження таких моделей для різних типів порід може бути цінним інструментом петрофізичних досліджень. У подальшому комплекс петроелектричних досліджень гірських порід ра-

ціонально було б доповнити вивченням діелектричної проникності, тангенса кута діелектричних втрат порід-колекторів, оцінити інформативність геоелектричних параметрів, що контролюють зміни електричного опору сухих екстрагованих зразків з часом при пропусканні постійного струму та встановити кореляційні залежності їх з даними геофізичних досліджень свердловин.

Список використаних джерел

1. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. – Москва: Недра, 1975. – 343 с.
2. Вижва С.А. Петроелектричні дослідження керну свердловини Чорноморського шельфу / С.А. Вижва, М.В. Рева, А.П. Гожик, В.І. Онищук, І.І. Онищук // Вісник Київського університету. Геологія. – 2008. – № 44 – С. 4–8.

3. Вижва С.А. Петроелектричні дослідження керну складнопобудованих порід-колекторів / С.А. Вижва, М.В. Рева, А.П. Гожик, В.І. Онищук, І.І. Онищук // Вісник Київського університету "Геологія". – 2010. – №50. – С. 4–7.

4. Вижва С.А. Петроелектрична модель порід-колекторів Західно-Шебелинського газоконденсатного родовища / С.А. Вижва, Д.І. Онищук, В.І. Онищук // Вісник Київського університету "Геологія". – 2012. – №57. – С. 13–16.

5. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. – Москва: Наука, 1965. – 164с.

6. Петрофизика: [справочник. / под ред. Н.Б. Дортман]. Ч. 1. – Москва: Недра, 1992. – 391с.

7. Петрофизика: [справочник. / под ред. Н.Б. Дортман]. Ч. 2. – Москва: Недра, 1992. – 304с.

8. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика. – Москва: Недра, 1984. – 455 с.

Надійшла до редколегії 15.02.13

С. Вижва, д-р геол. наук, Д. Онищук, асп., В. Онищук, канд. геол. наук
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ПЕТРОЕЛЕКТРИЧНА МОДЕЛЬ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОРОД КЕМБРИЯ ВЛАДИМИРСКОЙ ПЛОЩАДИ ВОЛЫНО-ПОДОЛЬЯ

Рассматриваются особенности методики и результаты петроелектрических исследований при изучении сложнопостроенных терригенных коллекторов. Приведены результаты определения электрических параметров и их связь с емкостными свойствами песчаников, известняков и доломитов кембрию Владимирской площади Волыно-Подолья. Построены их петроелектрические модели.

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), D. Onyshchuk, PhD student., V. Onyshchuk, Cand. Sci. (Geol.)
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

PETROELECTRICAL MODEL OF MAIN TYPES OF CAMBRIAN ROCKS FROM VOLODYMYRSKA AREA OF VOLYNO-PODOLIA

The features of technique and results of petroelectrical investigation of complex-structured terrigenous and carbonate reservoirs are considered. As well results of determination of electric data and their connection with capacity properties of sandstones, limestones and dolomites (Cambrian) from Volodymyrska area of Volyno-Podolia are cited in this article. Their petroelectrical models are created.

УДК 550.344

Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, А. Павлова, асп.
Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ В ЗАДАЧАХ ПОШИРЕННЯ СЕЙСМІЧНИХ ХВИЛЬ В ШАРУВАТИХ АНІЗОТРОПНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Г.Т. Продайводою)

Наведено теорію поширення сейсмічних хвиль в анізотропному середовищі з використанням матричного методу Томсона-Хаскела. Шляхом введення хвильового пропагатора показано матричний формалізм для отримання поля переміщень на вільній поверхні шаруватого анізотропного півпростору. Апробацію запропонованої методики показано шляхом порівняльного аналізу хвильових форм, які отримано DSM методом, рефлективним та FCT методами, а також методом скінчених різниць.

Вступ. Задачі математичного моделювання хвильових полів в шаруватих анізотропних середовищах залишаються актуальними. За допомогою результатів моделювання розповсюдження фронтів сейсмічних хвиль в анізотропних середовищах можна прогнозувати динамічні властивості пружних середовищ, а також враховувати вплив анізотропії в задачах інверсії щодо визначення параметрів джерела. Існує достатньо методів для вирішення таких задач, які достатньо ефективно використовуються в геофізиці, в тому числі в сейсмології [6]. Відомими є матричний, рефлективний і променевий методи, а також чисельні методи, зокрема метод скінчених елементів та метод скінчених різниць [1, 2, 4, 5, 8, 9, 15, 16, 17]. Матричний метод та його модифікації, які використовуються для моделювання процесів поширення сейсмічних хвиль як для ізотропних, так і для анізотропних середовищ є досить зручними і мають цілу низку переваг перед іншими підходами. Як переваги так і недоліки матричного методу добре представлено в роботах [1, 3, 4, 7, 10, 14].

Авторами даної роботи запропоновано використання матричного методу Томсона-Хаскела для побудови поля переміщень на вільній поверхні анізотропного середовища. Для використання матричного методу приведемо такі судження. Дане середовище промодельо-

ване пачкою однорідних анізотропних шарів із паралельними границями. Джерело сейсмічних хвиль розглядається як точкове у просторі, але розподілене в часі і представлено довільно-орієнтованою силою або сейсмічним тензором (дев'ять пар сил). Вважаємо, що на границях між шарами виконуються умови жорсткого контакту (неперервність переміщень і напружень). Денна поверхня є вільною від напружень. Джерело хвиль розміщено всередині ізотропного шару на визначеній глибині $z=z_0$. Вважаємо також, що хвилі із нижнього півпростору ($n+1$) не повертаються (умова випромінювання). Таке представлення точкового джерела достатньо відоме і ефективно для моделювання поширення сейсмічних хвиль в шаруватому півпросторі [3].

У даній роботі розвинуто модифікацію матричного методу і показано його апробацію. Як результат ефективного використання запропонованого підходу, здійснено порівняльний аналіз синтетичних сейсмограм, отриманих за методом із результату, які обчислено іншими авторами в статтях [12, 13, 18].

Теорія. Виведемо матричні співвідношення для поля переміщень на вільній поверхні анізотропного середовища, використовуючи метод матричного пропагатора, коли фізичні параметри змінюються тільки в напрямку осі z (рис. 1).