

УДК 552.08:53+552.513(477.6)

**ГЕОФІЗИЧНА ІНФОРМАТИВНІСТЬ ПЕТРОФІЗИЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЯКИХ ПІСКОВИКІВ
ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОНБАСУ, ВИВЧЕНИХ ПРИ
ВИСОКИХ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРАХ**

**Корчин В. О., Буртний П. О., Карнаухова О. Є., Свіщук І. М.,
Кравчук М. В., Нех О. С.**

(Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, м. Київ)

Выполнен широкий комплекс петрофизических исследований пород: определены литологические, структурные, текстурные характеристики; измерены их пористость, водонасыщенность, плотность, упругие, электрические и теплофизические параметры. Выявлена высокая дифференциация пород по физическим характеристикам, литологическим и региональным признакам. Физические параметры песчаников зависят от степени их водонасыщенности, давления и температуры.

A broad set of petrophysical studies of rocks has been fulfilled: lithological, structural, fabric character have been determined, their porosity, water saturation, density, elastic, electric and thermal-physical parameters have been measured. Profound differentiation of rocks has been elucidated by their physical character, lithological and regional features. The values of physical parameters of sandstones depend on the degree of their saturation with water, pressure and temperature.

Підвищення достовірності і повноти локальних прогнозів фізичного стану масивів пов'язане з використанням в геологорозвідці ефективних геофізичних методів. При вивченні тектоніки шахтних полів геофізичними методами необхідне з'ясування характеру розподілу фізичних характеристик розрізів масивів гірсь-

ких порід і відповідно фізичних полів вугленосних формацій. Тому стає зрозумілою доцільність дослідження регіональних і локальних закономірностей зміни фізичних властивостей гірських порід в різних термобаричних умовах відповідних їх розподілу з глибиною району видобутку вугілля. Крім того, часто при виконанні багаторічних широкомасштабних гірських робіт і промислового будівництва відбувається погіршення екологічної ситуації. В результаті відробітку вугільних пластів відбувається порушення геостатичних і гідростатичних природних умов. На експлуатаційних площах відбуваються порушення рельєфу земної поверхні у вигляді появи тріщин, уступів, провалів, а також затоплення і заболочування або обезводнення корисних сільськогосподарських площ. Геологічна розвідка традиційними методами буріння не завжди своєчасно забезпечує виявлення техногенних і тектонічних порушень площ, що розробляються. Геофізичні методи в цьому випадку надійніші, вони підвищують детальність і достовірність прогнозу катаклізмів при розробці, експлуатації і закритті шахт. Вони дозволяють виявляти і прослідкувати рівні ґрунтових вод у відкладеннях, літологічні розчленовування, визначати потужності і структуру верхньої частини розрізу експлуатованої площі, а також уточнювати шляхи міграції підземних вод на поверхню, виявляти напружені зони, ділянки підвищеної тріщинуватості масиву. Для вирішення вищезазначених екологічних проблем необхідна чітка інтерпретація геофізичних досліджень, направлених на вивчення фізичних полів і їх змін під впливом техногенних і тектонічних процесів. Для цього необхідна об'ємна інформація про зміни фізичних властивостей гірських порід в різних умовах тиску, температур, водонасиченості. Іншими словами для ефективного вивчення геолого-тектонічних неоднорідностей за допомогою геофізичних методів необхідно знати відповідність між їх геологічними ознаками і фізичними параметрами. У такому разі геофізика, забезпечена необхідною петрофізичною інформацією про породи, зокрема при високому тиску і температурах, здатна вирішувати завдання: вивчення складу, будови і стану гірських порід; виявлення в масивах геолого-геофізичних аномалій, закономірностей їх розвитку і рівня; вивчення природи, структури, просторової і тимчасової мінливості

природних і штучних фізичних полів окремих блоків, масивів досліджуваних площ; діагностики процесів, які протікають в масивах при різних тектонічних і техногенних діях на породи.

На першому етапі вивчення регіональних і локальних закономірностей зміни фізичних полів вугільних масивів були виконані комплексні експериментальні дослідження фізичних властивостей порід (пружно-щільнісних, теплофізичних і електричних) опорних вугленосних горизонтів в різних лабораторних умовах дослідів [1-3].

Структурно-геологічне положення і характеристика об'єктів досліджень. Зміна фізичного стану певних ділянок територій і геологічних розрізів осадових товщ прямо пов'язана з освоєнням і розробкою вугільних пластів в окремих гірничопромислових районах Донецького басейну. Для з'ясування регіональних закономірностей зміни і розподілу фізичних характеристик масивів гірських порід необхідно вивчати фізичні параметри певних типів порід вугленосних формацій, найбільш характерних і широко розвинених в межах Донецького басейну.

Вугленосність Донбасу приурочена до осадових відкладень кам'яновугільного віку, потужність яких і характер їх розподілу за площею нерівномірні [4, 5]. Вугленосні відкладення нижнього карбону (C_1) відомі лише в західній і південно-західній частинах басейну. Верхньокам'яновугільні відклади (C_3) розвинені в східній його частині. Найбільші відклади середнього карбону (C_2), що широко зустрічаються, охоплюють практично всю територію басейну і мають максимальну вугленосність (особливо в межах його центральних площ).

Осадовна товща середнього карбону розчленовується на декілька свит ($C_2^1 - C_2^7$). Межами між ними служать горизонти маркіруючих вапняків. Найбільш вугленосні і вугленасичені свити C_2^3, C_2^5, C_2^6 . Значна потужність відкладень і наявність пластів вугілля, досить добра витриманість більшої частини маркіруючих горизонтів, чітка закономірна зміна за площею таких особливостей як потужність, вугленосність, склад і якість вугілля, дають можливість для кореляції розрізів в окремо узятих районах [4]. Такі особливості, у свою чергу, є одним з основних аргументів для з'ясування загальних закономірностей розподілу петрофізич-

них характеристик вугленосних відкладень і вибору порід середнього карбону як об'єкту для досліджень їх фізичних властивостей в різних РТ-режимах дослідів.

Вугленосні відкладення сформовані, в основному, теригеними породами, серед яких переважають пісковики, алевроліти, глинисті сланці з малопотужними прошарками вапняків і вугілля. Складні гірничо-геологічні умови розробки вугільних пластів, які супроводжуються викидами вугілля і газу, свідчать про складно-напружений стан масивів порід, яке може бути пов'язане із структурно-геологічними умовами їх залягання в певних типах тектонічних структур. Донецький басейн – це верхньопалеозойська складчаста споруда - синклінорій. Основними складчастими структурами його є Північна і Південна синкліналі і розділяюча їх Головна антикліналь, які займають основну площу Донбасу. Вказані структури пізнішими тектонічними рухами ускладнені розривними порушеннями, утворенням купольних структур, поперечних лінійних флексурних складок, внаслідок чого на території Донбасу виділяється ряд структур вищого порядку. Виділені на території Донбасу геологічні структури характеризуються певними умовами залягання осадових товщ, кількістю і потужністю вугільних пластів, якістю вугілля і інших особливостей, які лягли в основу гірничопромислового районування Донбасу [4].

Для досліджень фізичних властивостей була відібрана серія зразків гірських порід з шахт і кар'єрів, розташованих в межах конкретних геологічних структур, а саме: Головна Антиклиналь, Чистяково-Сніжнянська синкліналь, Кальміус-Торецька западина, Зуєвська антикліналь (Зуєвський купол), Ряснянська синкліналь (рис. 1).

За розмірами частинок уламкового матеріалу серед досліджуваних порід можна виділити: алевроліти або алевролітові сланці, з розміром частинок уламкового матеріалу 0,02-0,05 мм, з базальним типом цементу переважно глинисто-слюдяного, іноді карбонатного складу; пісковики тонкозернисті, з розміром частинок уламкового матеріалу 0,09-0,13 мм, з контактово-пористим, частково базальним типом цементу глинисто-слюдяного складу; пісковики дрібнозернисті, з розміром зерен уламкового матеріалу 0,13-0,23 мм, з пористим, контактовопористим типом цементу,

глинисто-слюдисто- карбонатним, рідко крем'янистим, іноді зустрічаються ділянки кварцитоподібної структури; пісковики середньозернисті, з розміром зерен уламкового матеріалу 0,23-0,32 мм (табл. 1).

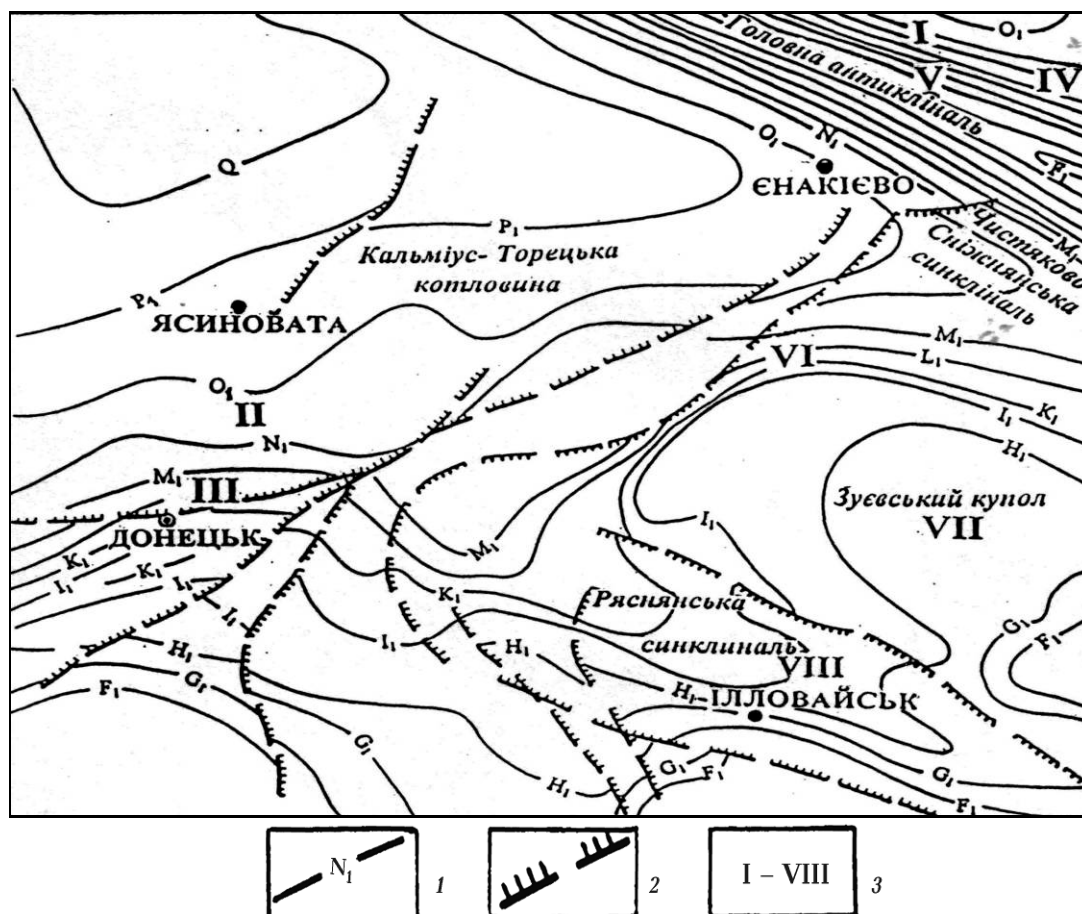


Рис. 1. Структурна схема центральної частини Донбасу [1]:
1 – граничні вапняки свит карбону; 2 – розривні порушення; 3 – місця відбору зразків гірських порід (назву див. у тексті)

В окремих штуфах зерна уламкового матеріалу досягають розмірів 0,41-0,55 мм. Цемент переважно контактово-пористий з ділянками кварцитоподібної структури. Склад цементу глинисто-слюдяний, іноді карбонатний, крем'янистий. У деяких різновидів відмічено переважання крем'янистого цементу.

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних порід Донбасу

№№ зр.	Назва породи	Текстура	Розмір зерен обл. мат., мм	Вміст обл. мат., %	Місце відбору
Головна антикліналь					
I-1	Пісковик м/з	смуґаста	0,13 – 0,23	58,6	Вуглегірська
I-2	-“-	сл. вир. смуґаста	0,13 – 0,23	60,4	-“-
I-3	Пісковик т/з	масивна	0,09 – 0,13	61,9	-“-
I-4	-“-	шарувата	0,09 – 0,13	58,3	-“-
IV-1	-“-	сланцовата	0,09 – 0,17	41,7	Ольховатка
IV-2	Алевролітовий сланець	сланцовата	0,02 – 0,05	17,3	-“-
IV-3	Пісковик м/з	сл. вир. смуґаста	0,13 – 0,17	65,3	-“-
IV-4	-“-	шарувата	0,17 – 0,28	58,1	-“-
V-1	Пісковик с-м/з	сл. вир. смуґаста	0,23 – 0,28	65,2	Єленовка
V-2	-“-	-“-	0,23 – 0,28	73,4	-“-
V-3	-“-	-“-	0,23 – 0,28	60,4	-“-
V-4	Пісковик с/з	-“-	0,41 – 0,55	78,1	-“-
Кальміус-Торецька котловина					
II-1	Пісковик т/з	масивна	0,09 – 0,17	57,9	Щегловка
II-2	Алевроліт	сланцовата	0,02 – 0,05	25,9	-“-
II-3	Алевроліт	сланцовата	0,02 – 0,05	26,5	-“-
II-4	Пісковик т/з	шарувата	0,09 – 0,17	62,1	-“-
III-1	Пісковик т/з	масивна	0,09 – 0,13	60,9	Засядько
III-2	Алевроліт	сланцовата	0,03 – 0,06	25,6	-“-
III-3	Пісковик т/з	шарувата	0,04 – 0,09	48,9	-“-
III-4	Пісковик т/з	масивна	0,09 – 0,13	62,2	-“-
Чистяково-Сніжнянська синкліналь					
VI-1	Пісковик м/з	сл. вир. шарувата	0,13 – 0,28	47,5	Нижня Кринка
VI-2	Алевроліт	шарувата	0,03 – 0,06	30,9	-“-
VI-3	Алевроліт	шарувата	0,03 – 0,05	29,9	-“-
VI-4	Пісковик т/з	сл. вир. шарувата	0,08 – 0,17	43,7	-“-
Зуєвський купол					
VII-1	Пісковик м-с/з	сл. вир. смуґаста	0,17 – 0,39	68,7	ЗУГРЭС
VII-2	Пісковик с/з	-“-	0,23 – 0,39	78,4	-“-
VII-3	Пісковик м/з	-“-	0,17 – 0,28	67,8	-“-
VII-4	Пісковик с/з	-“-	0,32 – 0,46	72,7	-“-
Ряснянська синкліналь					
VIII-1	Пісковик с/з	масивна	0,23 – 0,46	56,5	Іловайськ
VIII-2	Пісковик т/з	шарувата	0,09 – 0,12	48,3	-“-
VIII-4	Пісковик с/з	масивна	0,23 – 0,46	65,7	-“-

За ознаками текстур також виділяються декілька груп порід, для яких характерні певні особливості:

- Породи першої групи мають масивну текстуру без видимих неоднорідностей складу і кольору.
- Породи другої характеризуються більшою чи меншою мірою проявом смугастої текстури, обумовленої наявністю тонких смуг, які відрізняються від основної маси штуфу темнішим кольором. Ці особливості текстур найбільш характерні для мілко- і середньозернистих пісковиків.
- Породи третьої групи - шаруватої текстури, у якої спостерігається чергування різних по складу шарів. У нашому випадку досліджувані породи характеризуються наявністю численних паралельно розташованих тонких прошарків, збагачених глинистим матеріалом. Така текстура властива алевролітам, частково тонкозернистим пісковикам. Для останніх ця шаруватість має переривистий характер і нерівномірний їх розподіл за об'ємом штуфу.

Окрім цього серед вивчених порід є зразки, яким властива сланцювата текстура, обумовлена зміною умов осадконакопичення. Вона є результатом процесів динамометаморфізму, в результаті яких порода розпадається (розсланцювується) на тонкі пластини. Переважно, така текстура спостерігається у алевролітів (алевролітових сланців), причому, сланцюватість зазвичай паралельна шаруватості.

Таким чином, результати петрографічного вивчення вказують на те, що до складу колекції порід входять різновиди, що характеризуються певним розміром уламкового матеріалу, його кількістю в породі, особливостями текстур, типом цементу, які, визначають варіації фізичних параметрів досліджуваних об'єктів.

Пружні властивості. У нормальних лабораторних умовах фізичні властивості порід Донбасу досить добре вивчені, зокрема, і їх пружні властивості [4, 7].

Приведені загальні відомості про параметри пружнощільності верхніх горизонтів осадочних порід Донбасу можуть бути використані лише для якісної інтерпретації геолого-геофізичних матеріалів. Побудова ж моделей складнонапруженого стану окремих блоків досліджуваних площ регіону, пояснення аномалій фізичних полів і явищ при екологічному порушенні

стану навколишнього середовища можливо лише після детального вивчення порід конкретних ділянок регіону при різному тиску і температурах, в сухому і водонасиченому вигляді, при різних осьових навантаженнях [10-13].

Для дослідження фізичних характеристик порід Донбасу була підібрана колекція осадочних порід середнього карбону, що безпосередньо контактують з вугільними пластами. Відбір зразків в кількості більше 200 проб виконаний у восьми точках центральної частини Донецького вугільного басейну (рис. 1). Це в основному пісковики, найбільш представницькі по мінеральному складу, без істотних зовнішніх вад (тріщин, сторонніх включень і так далі). З штуфу породи вибурювалися шість циліндрових зразків у взаємно перпендикулярних напрямках по два в одній площині. З торцевих частин цих циліндрів зрізалися пластини для виготовлення шліфів і зразки (також і у вигляді пластин) для вимірювання електричних і теплофізичних параметрів пісковиків. Частина штуфу використовувалася для визначення щільності, питомої ваги і пористості породи. Для вимірювань пружнощільнісних параметрів використовувалися методики для циліндричних зразків, розроблені у відділі сейсмометрії та фізичних властивостей речовини Землі ІГ НАНУ ($\varnothing = 20-21$ мм; $L = 20-24$ мм) [1, 2, 14, 15].

Швидкості вимірюються на зразках з природною вологістю, сухих і насичених водою (або іншими рідинами і середовищами: нафта, газолін або бензин, розчини солей). Частина зразків цієї колекції після насичення далі вивчається при зовнішніх навантаженнях: осьовому (F) і усесторонньому тиску (P_t), температурі (T) або пайовій дії цих навантажень відповідно до можливого розподілу їх з глибиною для площ, що вивчаються [1-3].

Вимірювання часу розповсюдження пружних хвиль у зразку здійснюється на модернізованій двоканальній ультразвуковій імпульсній установці прозвучування створеної у відділі сейсмометрії та фізичних властивостей речовини Землі [9, 10, 18]. Похибка розрахунку швидкостей розповсюдження повздовжніх і поперечних пружних хвиль не більше ± 1 % для V_p , $\pm 1,2$ % для V_s [14].

Деякі дані вимірювань пружно-щільностних параметрів пісковиків при кімнатних Р і Т, природній вологості і водонасичених представлені на рис. 2 [1-3].

Матеріали досліджень фізичних властивостей пісковиків згруповані за літологічними ознаками (враховані відомості про мінеральний склад, структуру, текстуру, розмір зерен уламкових породоутворюючих мінералів, вид цементу, характеру цементації уламкових матеріалів і зерен породи) і регіональній інформації (місце відбору проб). Також були виміряні анізотропія пружних параметрів сухих і водонасичених порід. Анізотропія швидкості розповсюдження повздовжньої пружної хвилі оцінювалася по трьом вимірюванням V_p у взаємно перпендикулярних напрямках (x, y, z) і розраховувалася по співвідношенню $A_D = (V_{\max} - V_{\min}) / V_{\text{ср}}$.

Як правило, перпендикулярно шаруватості вибирався напрям y, а напрями x і z вибиралися перпендикулярно один до одного в площині шаруватості породи.

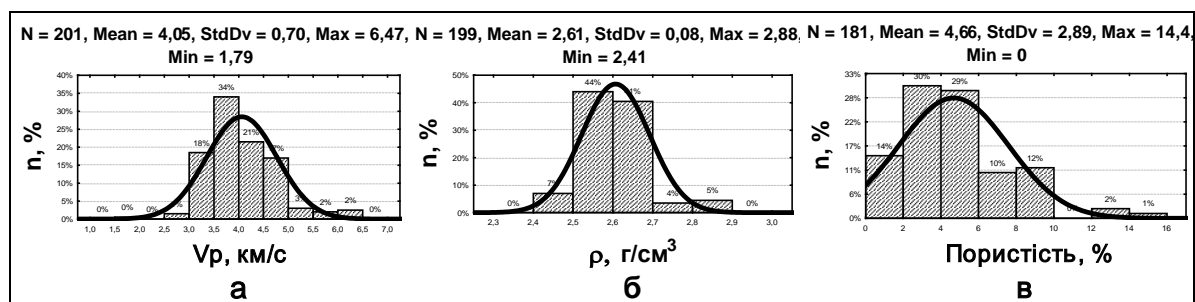


Рис. 2. Результати досліджень гістограм розподілу значень V_p (а), щільності (б) і пористості (в) досліджуваних зразків пісковиків

Розрахунки показали, що анізотропія швидкості розповсюдження пружних хвиль в пісковиках Донбасу коливається майже від нуля до 30 %. Декілька зразків мають значення $A_p \approx (30-45 \%)$, що пов'язане з наявністю прихованих тріщин уздовж пластів породи. Середньостатистичне значення анізотропії вивчених пісковиків трохи вище 10 %, хоча основна маса порід (70 %) характеризується анізотропією порядку $5 \pm 2 \%$. Нами було приділено особливу увагу анізотропії розповсюдження пружних хвиль в пісковіку у зв'язку з можливістю використання цього параметра

для модельних побудов і аналізу складнонапруженого стану окремих масивів по розробленій нами методиці [17-19]. Для цього необхідно, перш за все, розділити розраховані значення анізотропії на речовинно-структурні складові (обумовлені орієнтацією породоутворюючих мінералів, а також, седиментаційною шаруватістю, сформованою в період осадконакопичення) і що утворюється під впливом тектонічних і, можливо, техногенної напруги, коли порода може набувати додаткових напрямів розповсюдження максимальних і мінімальних значень швидкостей, які не співпадають з орієнтацією текстури. З цією метою спочатку зразки порід були схильні до насичення дистильованою водою.

Насичення зразків до постійної ваги здійснювалося у вакуумі по відомій методиці [20]. Після насичення зразків порід також вимірювалися швидкості V_p в трьох напрямках і розраховувалася пружна анізотропія. Матеріали досліджень представлені на рис. 3, а, б.

Перш за все відзначимо різний ступінь насичення зразків. Для всієї колекції порід вага зразків після насичення водою збільшилася на 0,1 до 1,4 % в порівнянні з вагою сухого зразка (рис. 2, б; 3, а), де вологість $W = (P_{в.н.} - P_c) / (P_{в.н.} - P_{в.н.})$ – вага насиченого вологою зразка, P_c – вага сухого зразка). У 70 % зразків вага збільшилася на 0,3-0,7 %, у 25 % спостерігалось вище насичення від 0,7 до 1,4 %. Таке поглинання води зразками приводить до значного збільшення в породах швидкості розповсюдження пружних хвиль V_p . Це добре видно при співставленні гістограм, представлених на рис. 2, б і 3, б. Якщо середньостатистичне значення V_p у природно-сухих порід приблизно 4,0 км/с, то у насичених зразків $V_p = 4,6$ км/с.

Причому тепер 85 % зразків мають швидкості в інтервалі 4-5 км/с, на відміну від швидкостей сухих порід, де цей інтервал V_p 3-4,5 км/с. Насичення порід відбувається, як правило, пропорційно пористості, при цьому швидкості насичених порід V_p н.в зменшуються із збільшенням пористості і, як наслідок вологості. Ця тенденція показана на рис. 4, де приведені кореляційні залежності $V_{pн.в.} = f(n)$, $V_{pн.в.} = f(W)$.

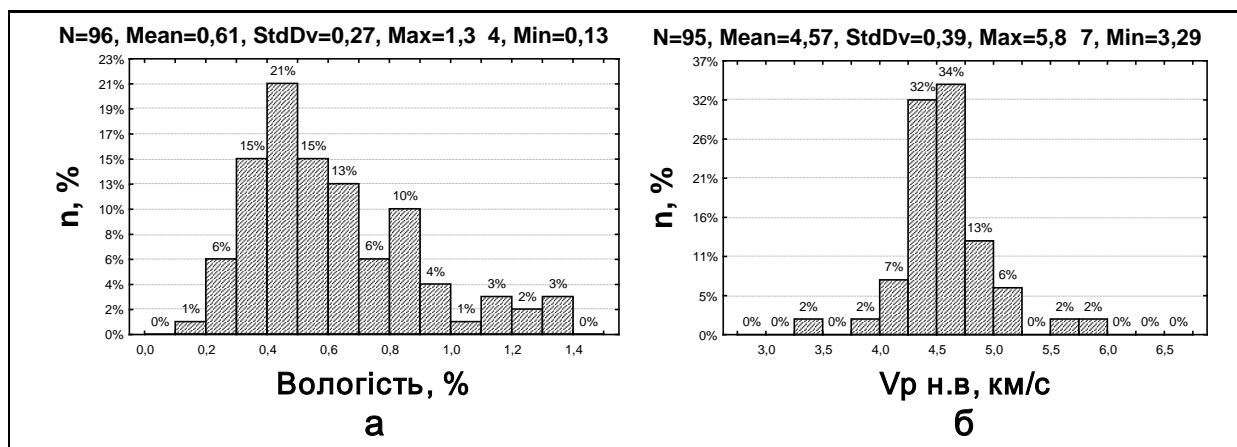


Рис. 3. Гістограми розподілу збільшення ваги зразків при насиченні водою (а) і розподілу значень V_p насичених водою зразків (б)

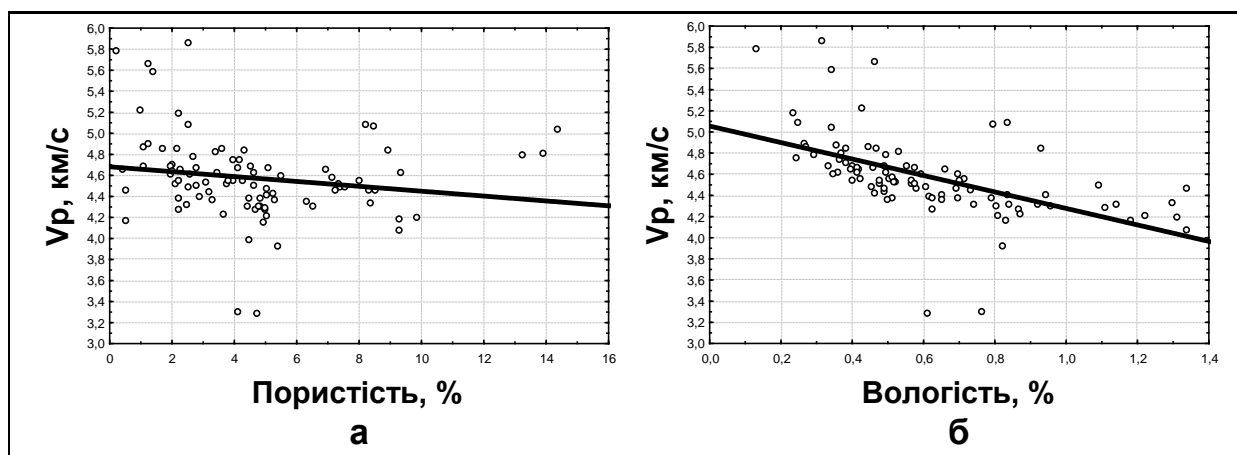


Рис. 4. Функціональні залежності $V_{p_{н.в.}} = f(n)$ (а), $V_{p_{н.в.}} = f(W)$ (б)

У зв'язку із збільшенням V_p у насичених зразків порід виявлено зменшення їх анізотропії майже в два рази залежно від їх зернистості, пористості і водонасиченості.

На рис. 5 приведені гістограми розподілу анізотропії (A_p) сухих (а) і водонасичених зразків (б).

Результати попереднього дослідження сухих і насичених водою порід свідчать, що пружна анізотропія деякої частини зразків обумовлена їх структурно-літологічними ознаками (смугастістю, анізотропною орієнтацією і кількістю структурних елементів – зерен, що цементує середовища).

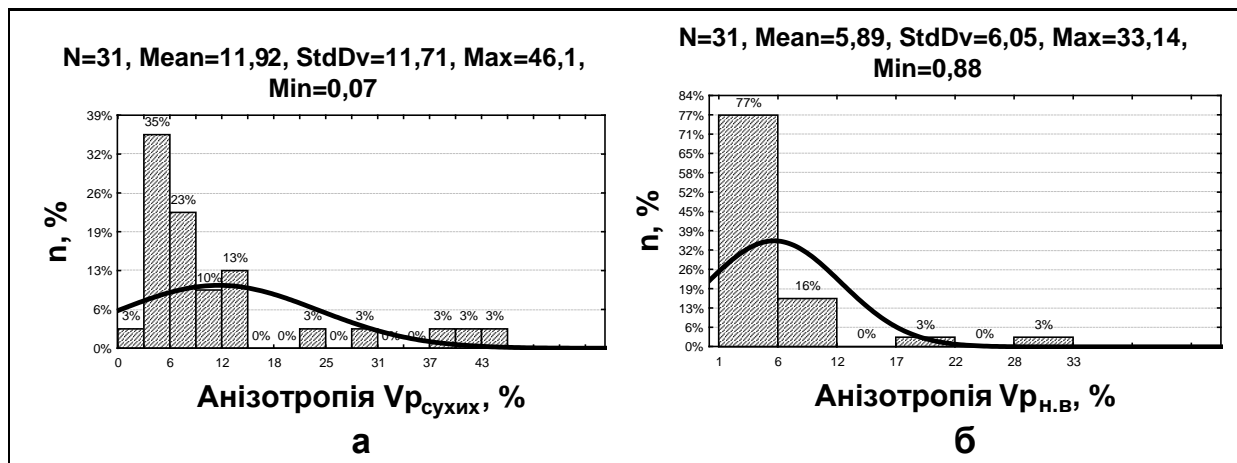


Рис. 5. Гістограми розподілу значень анізотропії сухих (а) і насичених водою (б) зразків досліджуваних пісковиків

Літологічна диференціація. Розглянемо значення параметрів пружно-щільності пісковиків для різних літологічних груп. Породи розділені на чотири групи по розмірах зерен уламкових матеріалів (табл. 1): алевроліти (\varnothing 0,02-0,05 мм), пісковики тонкозернисті (\varnothing 0,09-0,13 мм), дрібнозернисті (\varnothing 0,13-0,23 мм) і середньозернисті (\varnothing 0,23-0,32 мм).

Незалежно від величини зерен є видимим значне збільшення (V_p) при насиченні пісковиків водою. При цьому істотно зменшується розподіл значень швидкостей від 1,5 до 2,5 разів, причому чим менше зернистість, тим менше інтервал V_p . У табл. 2 наведені середньостатистичні величини фізичних параметрів порід різних літологічних груп. Як видно з представлених матеріалів алевроліти займають особливе місце – ним властивий малий вміст уламкових мінералів, невисока пористість, відносно високі швидкості V_p , висока анізотропія, обумовлена слоїсто-сланцюватою текстурою і міжшаруватою дефектністю. Не дивлячись на середню здатність абсорбувати воду при насиченні ($W=0,53$ %), алевролітові породи змінюють V_p при цьому всього лише на 2,5 %, але при насиченні у них істотно міняється пружна анізотропія.

Пісковики з вищою зернистістю уламкових матеріалів відрізняються від алевролітів. Достатньо чітко є видимими залежності фізичних характеристик порід від розмірів зерен (табл. 2). Із збільшенням розмірів зерна породоутворюючих мінералів збільшу-

ється їх вміст в породі від 55 до 75 %, при цьому зменшується щільність породи, збільшується пористість. Спостерігається тенденція до зменшення V_p із збільшенням розмірів зерен і пористості, зменшується гігроскопічність пісковиків. Насичення зразків обернено пропорційно кількості уламкового матеріалу, але при цьому спостерігається зростання швидкості V_p (на 11-28 %). При насиченні проб водою ($V_{pн.в.}$) пружна анізотропія пісковиків значно зменшується.

Результати досліджень, представлені в табл. 2, можуть служити діагностичними ознаками інтенсивності обводнення порід при техногенних порушеннях екологічної рівноваги в районах розробок вугільних шахт. Крім того, ці дані необхідні при аналізі і співставленні фізичних характеристик порід різних ділянок Донбасу.

Таблиця 2
 Фізичні характеристики сухих і водонасичених порід в залежності від розмірів зерен уламкового матеріалу

№	Зернистість мм	m	ρ г/см ³	n %	V_p с км/с	A_c %	W %	$V_{pн.в.}$ км/с	A_v %	S %
1	Алевроліти 0,02-0,05	29,1	2,6	3,6	4,7	11,0	0,55	4,82	5,0	2,56
2	Пісковики т/з 0,09-0,13	55,2	2,61	4,0	3,71	8,7	0,75	4,34	4,9	8,58
3	Пісковики м/з 0,13-0,23	57,9	2,63	3,0	4,06	8,16	0,44	4,51	3,6	11,1
4	Пісковики с/з 0,23-0,32	65,3	2,55	6,6	3,7	7,0	0,55	4,55	3,84	23,0
5	Пісковики с/з 0,41-0,55	73,7	2,51	8,5	3,00	6,56	1,05	4,97	3,54	28,0

m- середній вміст уламкового матеріалу (%), ρ – щільність (г/см³); n – пористість (% від об'єму зразка); $V_{p г.с.}$ - швидкість розповсюдження пружних хвиль у пісковиках природної вологості (км/с); A_c – анізотропія $V_{pн.с.}$ (%); W – водонасиченість зразка пісковика ; A_v – анізотропія вологого зразка; S – відносне збільшення V_p при насиченні водою (%).

Нами відібрані зразки порід восьми ділянок центральної частини Донбасу (рис. 1). У кожній точці було відібрано по чотири штуфи, з яких для дослідження підготовлені по 6 зразків. Цього, можливо, недостатньо для однозначного тлумачення результатів обробки даних про петрофізичні параметри кожної точки і співставлення їх між собою. Проте були виявлені деякі тенденції ди-

ференціації об'єктів дослідження за місцем відбору. Найімовірніше, виявлені відмінності більшою мірою обумовлені тектонічними і літологічними особливостями порід, які формують ту або іншу площу (шахту), ступенем метаморфізму вугілля і обрамляючих їх пісковиків. Узагальнюючи матеріали досліджень за пунктами відбору відзначимо наступне. Відносно невеликі значення щільності порід і швидкості V_p виявлені у пісковиків районів шахт Кальміус-Торецької котловини. Чистяково-Сніжнянської синкліналі (точки II, III, VI). Ці породи найбільш анізотропні, з високою пористістю і здібні до найбільшого водонасичення. Проте, їх значення $V_{pн.в}$ залишаються дещо меншими, ніж пісковиків інших місць відбору. Найбільші швидкості, щільність і коефіцієнти пружної анізотропії виявлені у повітряно-сухих порід, відібраних на території Зуєвського куполу і Ряснянської синкліналі (точки VII, VIII, рис. 1). Не дивлячись на те, що ці породи добре насичуються водою, вони набувають невисоких швидкостей.

Вважаємо, що виявлені відмінності фізичних характеристик порід більшою мірою обумовлені тектонічними особливостями районів відбору проб і регіональною літологічною диференціацією порід, що формують ту або іншу площу (шахтне поле), ступенем метаморфізму вугілля і вміщуючих їх порід.

У реальних умовах, на глибинах шахтних виробок, фізичні параметри порід багато в чому залежать від зовнішніх термодинамічних дій. У зв'язку з цим, були виконані дослідження пружних характеристик пісковиків, що вміщують вугільні пласти при високому гідростатичному тиску і осьових навантаженнях.

В умовах високого гідростатичного тиску були вивчені зразки порід, точки відбору яких розташовані в межах різних геологічних структур, а саме Головна Антиклиналь, Кальміус-Торецька котловина, Ряснянська синкліналь. Графіки зміни швидкості пружних хвиль залежно від тиску представлені на рис. 6. Як видно із рисунка, для всіх вивчених зразків спостерігається збільшення значень V_p , V_s , яке характерне практично для всіх гірських порід в даних умовах експерименту.

За даними вимірювань V_p , V_s і ρ , були розраховані їх пружні константи на різних глибинах: модуль зрушення (G), модуль Юн-

га (E), модуль всестороннього стиснення (K), коефіцієнт Пуассона (σ), а також їх стисливість і відношення V_p/V_s [2, 3].

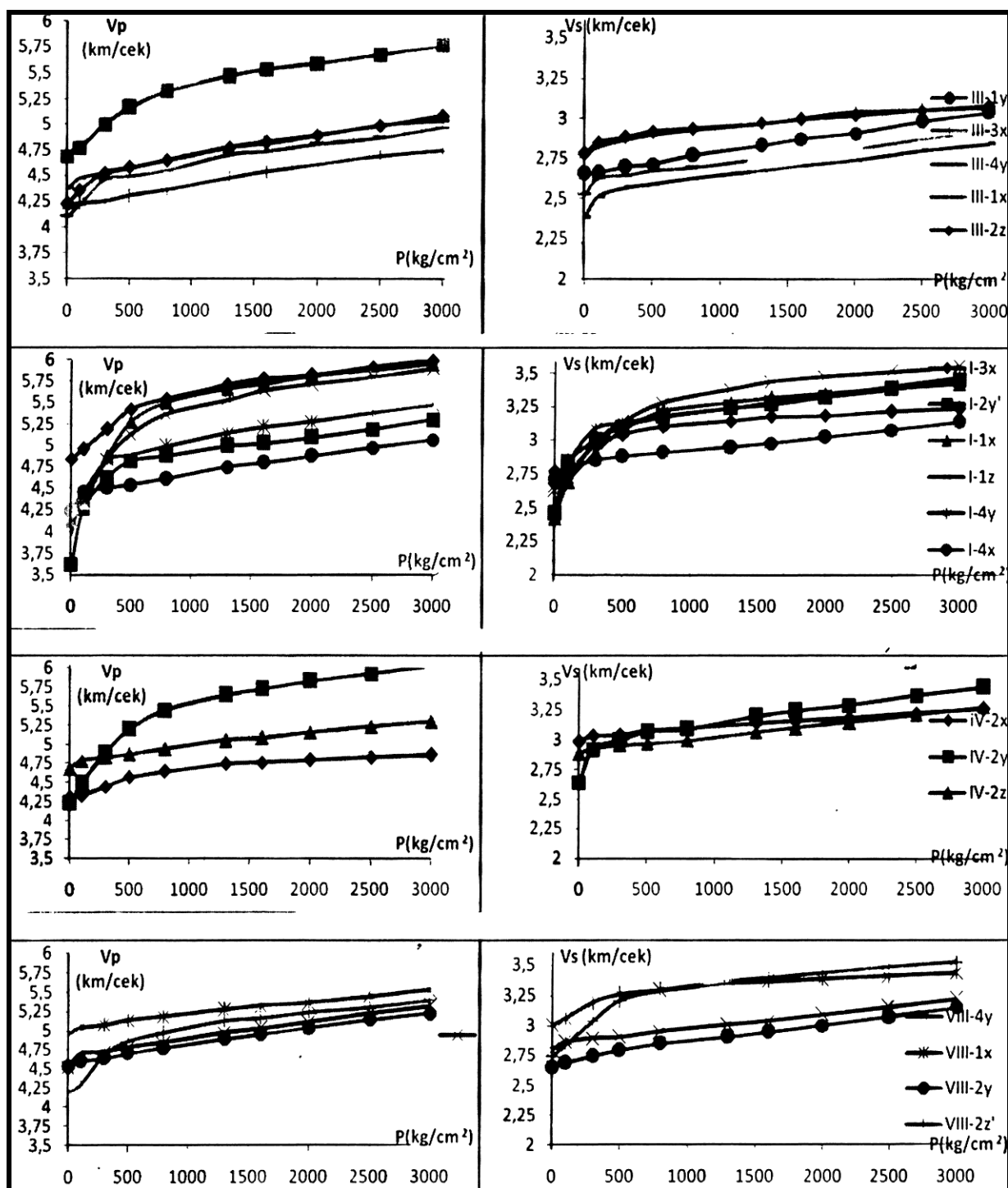


Рис. 6. Зміна швидкостей пружних повздожніх (V_p) і поперечних (V_s) хвиль в умовах високих гідростатичних тисків. Номери зразків і місця відбору відповідають табл. 1

На тлі загального збільшення пружних модулів G , E і K , підвищення тиску веде до зменшення їх стисливості при практично постійних величинах коефіцієнта Пуассона, особливо в інтервалі тиску 500-3000 кГ/см². У верхніх горизонтах кори, зокрема в осадочному покриві, як правило, переважає вертикальна складова тиску, обумовлена вагою вище розміщених пластів порід [21]. Горизонтальні складові напруги (за винятком тектоноактивних зон) на невеликих глибинах менші вертикальних. Тому для малих глибин ($H < 2-4$ км) дослідження порід при осьових навантаженнях у різних напрямках більш інформативні, ніж при усесторонньому гідростатичному тиску і можуть бути широко використані при моделюванні фізичних полів і процесів на невеликих глибинах.

У зв'язку з цим були проведені дослідження пісковиків Донбасу при осьових навантаженнях до 35 кГ, що орієнтовано відповідає вертикальній її складовій в земній корі на глибині порядку 3000 м. Результати досліджень зміни швидкостей V_p , V_s приведені на рис. 7, 8.

Для порід, досліджених при осьових навантаженнях за даними вимірювань V_p , V_s і ρ , також були розраховані їх пружні константи на різних глибинах [2, 3].

В результаті впливу осьового навантаження уздовж розповсюдження V_p на тлі загального збільшення швидкості, інтервали їх значень під осьовим тиском істотно не відрізняються від таких за атмосферних умов. Також не спостерігається значного зменшення пружної анізотропії порід. Проте для окремих зразків в різних напрямках різниця між максимальними і мінімальними V_p зменшується і при осьовому навантаженні порядку $P \approx 1200$ кГ/см² досягає нуля. В протилежність цим зразкам породи деяких ділянок, і зокрема шахти ім. Засядько, при осьовому тиску збільшують анізотропію. Це відбувається швидше за все за рахунок розшарування пісковика уздовж осі зразка під навантаженням. Підтвердженням цьому може служити постійність, а іноді і зменшення швидкості поперечних хвиль в цих зразках при збільшенні тиску, відповідного глибині 2,5 км (при атмосферному і осьовому тиску) $V_s \approx 2,6 - 2,7$ км/с.

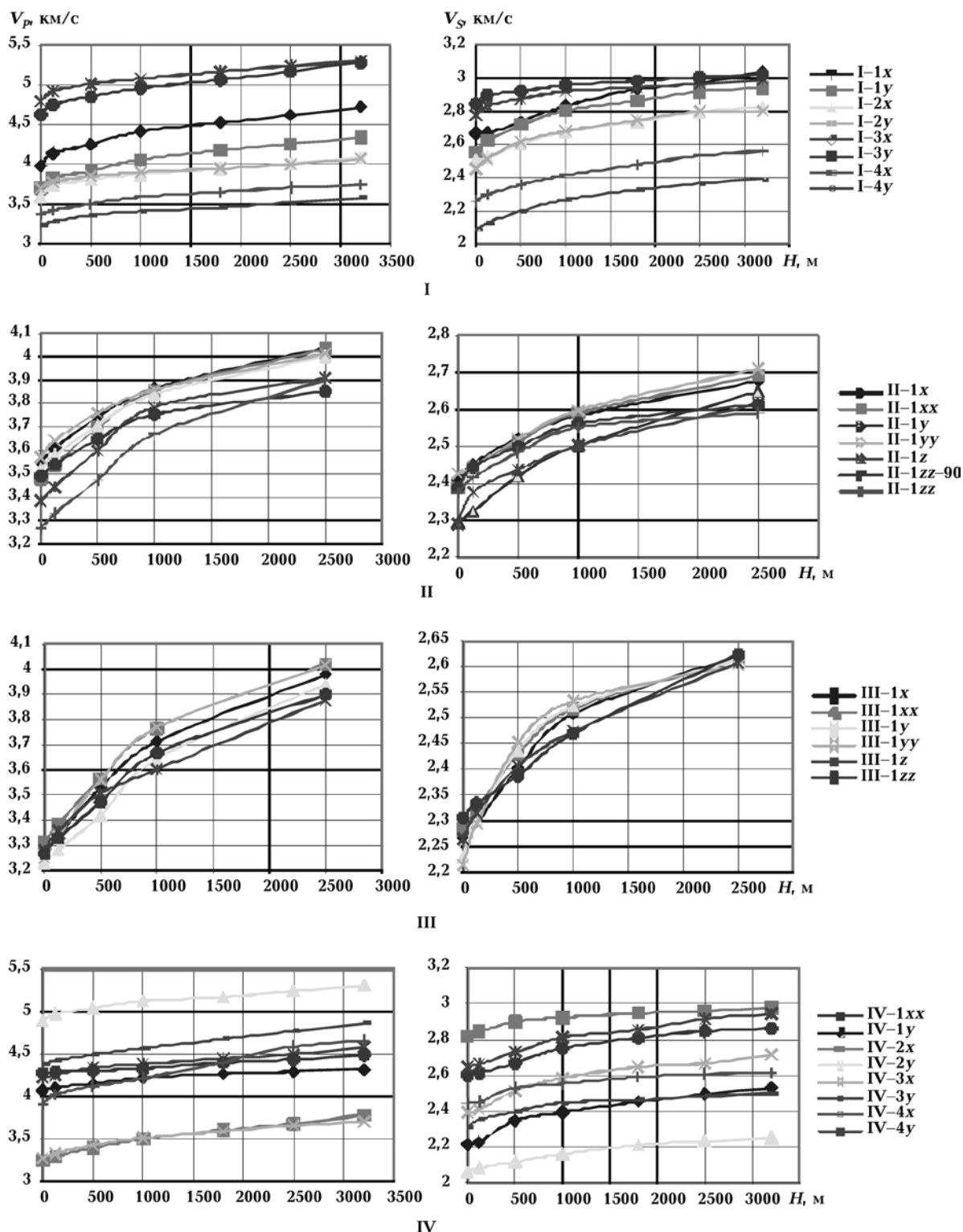


Рис. 7. Зміна швидкостей розповсюдження V_p і V_s від осьового навантаження, перерахованого на глибину можливого залягання пісковиків, відібраних у шахтах Вуглегірська (I), Щеглова Глибока (II), Засядько (III), Ольховатська (IV)

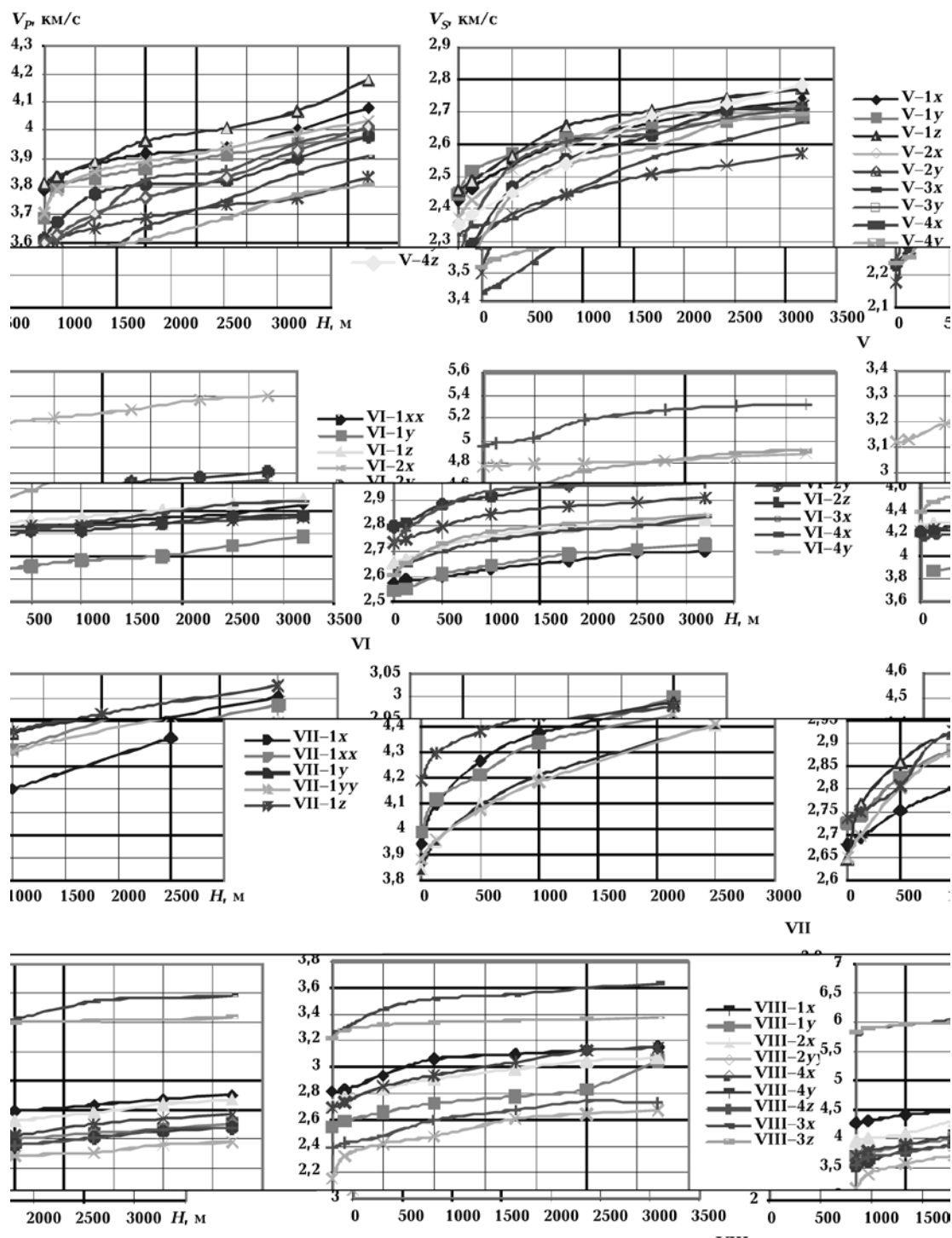


Рис. 8. Зміна швидкостей розповсюдження пружної хвилі повздовжньої (V_p) і поперечної (V_s) поляризації від осьового навантаження, перерахованого на глибину можливого залягання пісковиків, відібраних у шахті Іловайська (VIII), а також кар'єрах Єленівка (V), Нижня Кринка (VI), ЗУГРЕС (VII)

Необхідно відзначити, що породи шахти ім. Засядько залишаються найбільш крихкими середовищами як на поверхні, так і на глибині більше 2 км. На це вказують значення коефіцієнта Пуассона (параметр якісно характеризує крихкість середовища), який тут найменший з відомих для осадочних порід (0,01-0,10). Для цих порід спостерігається також найбільший градієнт зміни ΔV_p (0,26 км/с). Подібні зміни пружних параметрів з глибиною (при осьовому навантаженні) характерні для порід шахти Щегловка Глибока (рис. 7). Ця шахта також знаходиться в зоні Кальміус-Торецької котловини, тектонічні особливості будови якої, очевидно, визначають пружний стан порід. Вивчені пісковики решти шахт при осьовому тиску подібні до один одного:

$$\frac{\partial V_p}{\partial H} = 0,18 \div 0,2 \text{ м/с}, \quad \frac{\partial V_s}{\partial H} = 0,06 \div 0,12 \text{ м/с}.$$

Найінтенсивніше змінюються V_p , V_s в середньо- і грубозернистих утвореннях.

Проте найбільші швидкості, як і раніше, мають породи, подібні до алевролітових пісковиків ($V_{p_{\max}}=5,35$, $V_{s_{\max}}=3,3$ км/с).

Відношення швидкостей і коефіцієнти Пуассона вивчених порід мають низькі значення, тому майже всі зразки порід віднесені до крихких і дуже крихких. У багатьох випадках ці параметри із збільшенням осьового навантаження ще більш зменшуються і лише при тиску, відповідному глибині 2-3 км, трохи зростають (окремі різновиди порід ще більше знижують значення σ і $\frac{V_p}{V_s}$, що свідчить про їх прагнення до руйнування зразка при стисненні). Вивчені породи мають також низькі значення модуля зрушення і усестороннього стиснення. Тому вже при малій зсувній напрузі ($\sigma \approx (0,12-0,17) \cdot 10^2$ ГПа, $K \approx (0,08-0,11) \cdot 10^2$ ГПа) можливе руйнування порід. Всі без виключення пісковики характеризуються високою стисливістю. Ця величина добре корелюється з пористістю порід і свідчить про те, що поровий простір в пісковиках дуже динамічний і здатний при осьових навантаженнях значно зменшуватись. Висока стисливість осадочних порід також пов'язана з ущільненням міжзернового цементу. Аналізуючи дані змін пружних параметрів пісковиків в умовах осьових навантажень, орієн-

тованих уздовж різних структурних напрямів, простежується залежність цих змін від початкового стану зразків порід і певною мірою від глибини відбору проб. Так, найбільші зміни V_p, V_s властиві породам, відібраним з кар'єрів (в порівнянні з іншими вони більше насичаються рідиною). Щільні породи, відібрані з глибоких горизонтів шахт, мало змінюють пружні параметри при осьовому навантаженні і слабо насичаються водою.

Теплофізичні властивості. Досліджувались зміни теплопровідності, температуропровідності та питомої теплоємності колекції осадових порід за умовами окремого впливу температури до 350°C та тиску до 0,35 ГПа. Крім того, вивчалась анізотропія теплопровідності при нормальних умовах вимірювань та її зв'язок зі щільністю пісковиків.

Температурні залежності теплопровідності (λ) вивчались на стандартному приладі типу ИТ- λ -400 [22]. Використовувались зразки циліндричної форми діаметром 15 і висотою біля 3,5 мм. Вплив високого тиску на розподіл усього комплексу теплофізичних параметрів (α , C , λ) порід досліджувався на зразках аналогічної форми та розмірів за допомогою спеціальної апаратури і установок, створених у відділі сейсмометрії і фізичних властивостей речовин Землі ІГ НАН України методом, заснованим на теорії регулярного теплового режиму (РТР) 3-го роду [23]. Похибка вимірювань не перевищувала $\pm 10\%$.

Відомо [24], що високу теплопровідність мають чисті щільні вапняки (2,89 - 4,13 Вт/м·К) і пісковики (2,48 - 4,96), середню – сланці (2,38 - 3,31). Низька теплопровідність характерна для глин (0,83 - 1,24), дещо більша - для аргілітів (1,0 - 2,2) і алевролітів (0,9 - 2,4 Вт/м·К). Теплопровідність пісковиків залежить не тільки від мінерального складу скелета породи (кварцовий, польвошпат-кварцовий, поліміктовий тощо), а також різновиду цементу (кварцовий, карбонатний, глинистий). Збільшення глинистості осадових порід призводить до зменшення їх теплопровідності. Варіації глинистості також є одним із факторів, що обумовлюють великий діапазон її коливань. Так, суттєво глинисті пісковики вже мають $\lambda = 1,24 - 1,65$ Вт/м·К. Змінення теплопровідності сланців зумовлені не тільки коливанням мінерального складу, а також ступенем метаморфізованості і анізотропією. Значущим фак-

тором є і вологість осадочних порід. Так, теплопровідність третинних глин після насичення водою збільшувалась майже в два рази. В роботі [25] приведені узагальнені дані про теплопровідність основних різновидів порід карбону – аргілітів, алевролітів, пісковиків і вапняків з різних частин регіону. Ефективна середня λ цієї товщі 2,0 Вт/м·К.

Вивчення баричних залежностей теплофізичних параметрів осадочних порід даного регіону не проводилось. Відома інформація про вплив температури. Так, у [24] надані температурні (до 200, частково 350°C) залежності теплопровідності деяких осадочних порід, у тому числі і пісковиків. Для усіх порід характерне зменшення λ з ростом температури. Встановлено, що збільшення глинистості зменшує температурний градієнт теплопровідності і навіть обумовлює деякий її зріст з нагріванням.

Дослідження осадочних порід інших регіонів при різноманітних РТ-умовах також нечисленні. Так, баричні залежності теплопровідності трьох зразків пісковиків Кавказу [25] дещо різняться між собою - мають більш інтенсивний зріст λ в інтервалі тисків від атмосферного до 0,08 - 0,1 ГПа з подальшим поступовим збільшенням по лінійному закону із середнім градієнтом 0,19 Вт·м⁻¹·К⁻¹/ГПа (як у кристалічних порід), або нелінійне поступове її збільшення до максимального (0,25 ГПа) тиску з можливим виходом на лінійну залежність з подальшим його зростанням. При цьому, одночасне збільшення температури по різному впливає на її баричні залежності – вони майже не змінюються, або стають повністю лінійними. Початкові значення λ як збільшуються, так і зменшуються із зростанням температури. Насичення різними флюїдами (вода, касторове масло, аргон) при інших рівних умовах завжди визиває зростання теплопровідності (на 10 - 40 %).

Температурні (до 150°C) залежності теплопровідності [25] істотно різняться між собою - від обернено пропорційної лінійної або близької до неї, характерної для кристалічних порід, до лінійної прямо пропорційної, властивої породам у скловидному стані. При цьому, із зростанням тиску (до 0,4 ГПа) характер залежностей не змінюється, а початкові значення λ збільшуються. Аналогічний вплив має і флюїдонасичення. Назви та вік пісковиків

ків не уточнюються, щільність змінюється від 2,17 до 2,35 г/см³, пористість - від 5 до 16 %.

При вивченні зразка пісковика [26], ($\rho=2,38$ г/см³, $n=9,9$ %, тиск до 1,0 ГПа, кімнатна температура) одержана у цілому аналогічна барична залежність теплопровідності – більш суттєвий зріст в інтервалі від атмосферного до 0,3 ГПа з подальшим лінійним зростанням з градієнтом 0,915 Вт·м⁻¹·К⁻¹/ ГПа. Однак, у початковому інтервалі тисків вона збільшується дещо по-іншому. Назва та вік пісковика також не уточнюються.

Вивчалась анізотропія теплопровідності колекції пісковиків та алевролітових сланців даного регіону (32 сухих зразків), орієнтованих за трьома напрямками: X і Z – вздовж нашарування, Y – впоперек.

Величина коефіцієнта анізотропії розраховувалась за рівнянням:

$$A_{\lambda} = \frac{\lambda_{\text{іаєн}} - \lambda_{\text{ізі}}}{\lambda_{\text{іаєн}}} \cdot 100\%$$

Мінеральний склад пісковиків кварц-польовошпатовий з глинисто-слюдисто-карбонатним цементом. Відрізняються за розміром зерен мінералів – від тонко до середньозернистих. Щільність змінюється від 2,50 до 2,69 г/см³. Характерний досить широкий розкид початкових значень теплопровідності (2,63 - 4,83 Вт/м·К), що зумовлено як процентним вмістом зерен кварцу, самого теплопровідного з породоутворюючих мінералів, так і різною кількістю низькотеплопровідного цементу у породі. Алевролітові сланці мають дещо більшу щільність (2,60 - 2,78 г/см³) і меншу теплопровідність – від 2,05 до 2,66 Вт/м·К.

Анізотропія теплопровідності тонкошаруватих літологічно однорідних осадових порід (мікроанізотропія) може бути обумовлена як мікрошаруватістю, так і упорядкованою орієнтацією зерен, складаючих породу мінералів, що мають різну величину λ . Одержані результати (табл. 3) показують, що явище анізотропії притаманне обом породам, однак у сланців остання проявляється більш чітко.

Таблиця 3

Середні значення теплопровідності та анізотропії порід
 для різних місць відбору проб

№ пп	№№ зразка	Порода	ρ , г/см ³	Теплопровідність, Вт/м·К				А, %		
				X	Y	Z	Сер.	XY	YZ	XZ
Головна антикліналь										
1	I, IV, V	Пісковики т/зернисті	2,61	3,04	2,62	3,10	2,92	14,8	16,8	2,0
2		Пісковики м/зернисті	2,65	3,21	2,95	3,39	3,18	8,4	13,9	5,4
3		Пісковики с/зернисті	2,56	3,62	3,60	3,83	3,68	0,6	6,2	5,6
4		Алевролітовий сланець	2,78	2,84	1,57	2,29	2,23	57,7	37,3	21,5
Кальміус-Торецька котловина										
1	II, III	Пісковики т/зернисті	2,57	3,19	2,61	3,14	2,99	20,0	18,4	1,6
2		Пісковики м/зернисті	2,54	2,95	2,80	2,98	2,92	5,2	6,2	1,0
3		Алевролітові сланці	2,62	2,52	1,68	2,32	2,18	40,0	32,0	8,3
Чистяково-Сніжнянська синкліналь										
1	VI	Пісковики м/зернисті	2,66	3,36	2,76	3,29	3,14	19,6	17,5	2,1
2		Алевролітові сланці	2,67	2,68	2,26	2,82	2,59	17,0	22,0	5,1
Зуєвський купол										
1	VII	Пісковики м/зернисті	2,59	4,69	3,58	4,26	4,18	26,8	17,4	9,6
2		Пісковики с/зернисті	2,52	4,43	4,47	4,92	4,59	0,9	9,6	10,5
Ряснянська синкліналь										
1	VIII	Пісковик т/зернистий	2,60	4,14	3,15	4,02	3,77	27,2	24,3	2,9
2		Пісковики с/зернисті	2,56	4,40	4,28	4,56	4,41	2,8	6,3	3,6
3		Карбонатна порода	2,87	2,09	1,96	2,08	2,04	6,4	5,9	0,5

Так, вздовж нашарування (XZ) вона майже відсутня – менше 10 %, що в межах похибки вимірювань, тоді як впоперек (XY і YZ) – від 15 до 46, інколи, 58 %. У більшості зразків пісковиків вона також є значною – 10-30, до 43 %, але в деяких випадках зовсім відсутня. В таблиці 3 також надані усереднені параметри порід по окремим геологічним структурам. Для пісковиків кожної з них характерним є зменшення щільності і анізотропії та збільшення теплопровідності з ростом розмірів зерен, складаючих породи мінералів. Тонко та мілкозернисті пісковики перших трьох структур за величиною λ майже не відрізняються (2,92 - 3,14 Вт/м·К). Середньозернисті мають більш широкий розкид її значень – від 3,68 до 4,41 Вт/м·К. Найбільш теплопровідними є пісковики Зуєвського куполу та Ряснянської синкліналі. Анізотропія у цілому приблизно однакова для пісковиків усіх структур і досягає 20 %. По алевролітовим сланцям об'єм одержаних даних недостатній, що потребує подальшого їх дослідження. Крім того, вивчався зв'язок між коефіцієнтом теплопровідності та щільністю орієнтованих зразків пісковиків. Ця залежність апроксимується лінійним рівнянням регресії (рис. 9).

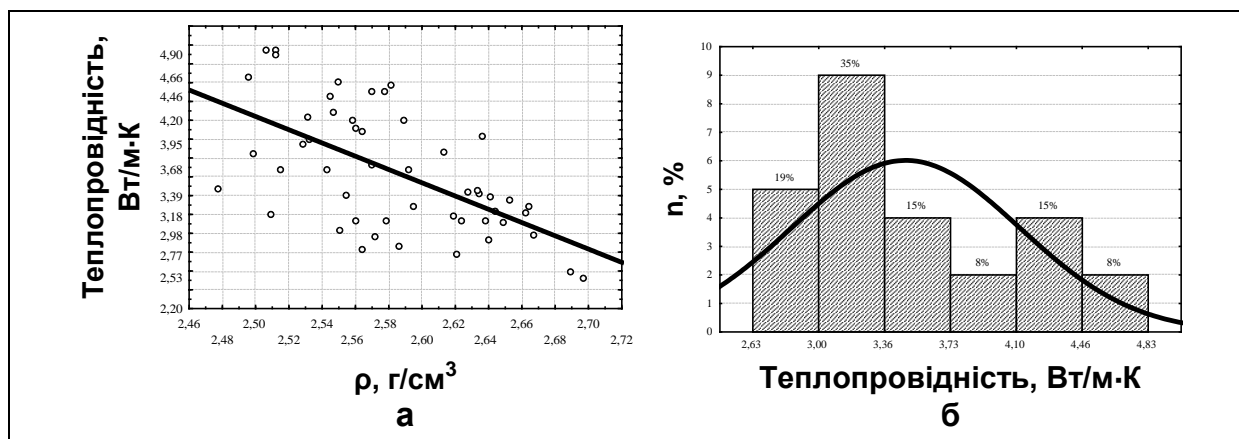


Рис. 9. а – кореляційна залежність коефіцієнту теплопровідності від щільності орієнтованих м/з і с/з зразків пісковиків; б – гістограма середніх значень коефіцієнта теплопровідності колекції пісковиків (I-VIII)

Коефіцієнт кореляції ($r > 0,60$) показує, що між даними параметрами є відповідний зв'язок.

З метою кількісної характеристики одержаних даних був зроблений їх статистичний аналіз – побудована гістограма теплопровідності пісковиків (рис. 9, б).

Розподілення величин λ в межах даної вибірки ненормальне. Виділяються дві групи зразків: більш численна в інтервалі 3,00 - 3,36, і менш – 4,10 - 4,46 Вт/м·К. Перша, відносно низької теплопровідності, характеризує тонко і мілкозернисті різновиди, друга, з більш високими значеннями λ - середньозернисті. У цілому пісковики мають $\lambda_{\text{сеп}}=3,50$ Вт/м·К, середнє квадратичне відхилення 0,64.

Температурні дослідження. Пісковики представлені кварцпольовошпатовими, досить щільними ($\rho = 2,50 - 2,69$ г/см³) різновидами з величиною пористості (n), що не перевищує 10 %. Коефіцієнт анізотропії (A) впоперек нашарування змінюється від 10 до 30, інколи 43 %. На рис. 10 приведені типові температурні залежності теплопровідності орієнтованого за трьома напрямками зразка т/з пісковика ($\rho = 2,57$ г/см³, $n = 8,0$ %, $A = 25$ %) як сухого, так і водонасиченого.

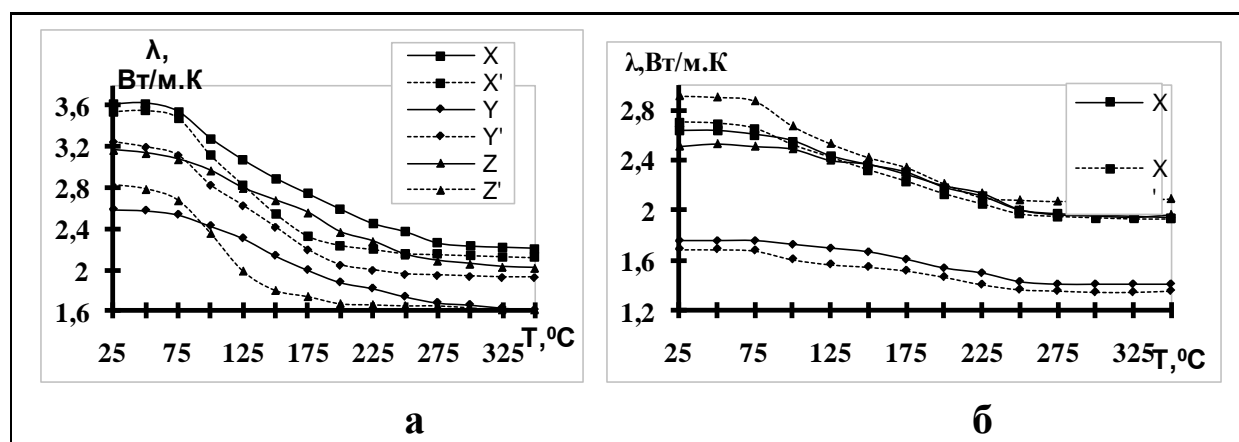


Рис. 10. Температурні залежності теплопровідності орієнтованого зразка т/з пісковика: X, Z - вздовж, Y - впоперек нашарування; із штрихами – водонасичений зразок (а); алевролітового сланця: X, Z - вздовж, Y - впоперек нашарування; ---- - водонасичений (б)

З огляду на відносно невелику пористість даних зразків пісковика, ступінь водонасиченості також був незначний – вага кожного зразка збільшилась приблизно на 1 %. Однак, за характе-

ром температурних залежностей теплопровідності водонасичені зразки суттєво відрізняються - мають більш різке її зменшення в інтервалі температур від 75 до 200⁰ С. Водонасичення збільшує початкове значення λ на 25 % (для зразка, орієнтованого впоперек нашарування). Також зафіксована незначна (2 – 10 %) зміна в двох інших напрямках (вздовж нашарування).

Алевролітові сланці мають дещо більшу щільність (2,60 - 2,78 г/см³) і анізотропію (15-46, до 58 %) та меншу пористість (0,7 - 4,7 %). Типові температурні залежності для орієнтованого зразка сланця ($\rho = 2,64$ г/см³, $n = 4,7$ %, $A_{сер} = 38$ %) приведені на рис. 11 б.

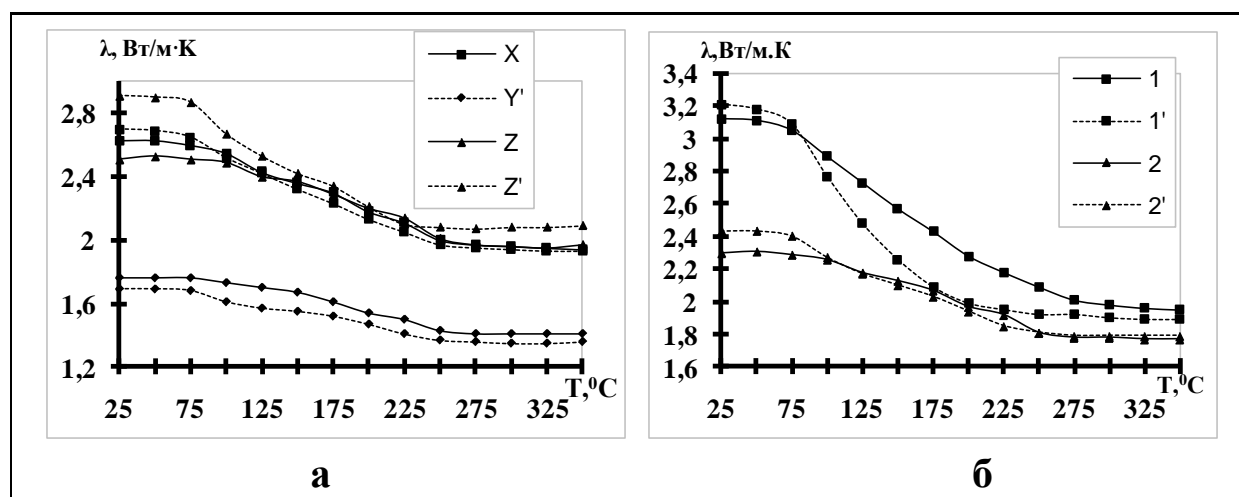


Рис. 11. Температурні залежності теплопровідності орієнтованого алевролітового сланця: X, Z - вздовж, Y - впоперек нашарування; ---- - водонасичений (а); т/зернистого пісковика: X, Z - вздовж, Y - впоперек нашарування; із штрихами – водонасичений зразок (б)

При відносно малій пористості фіксується також аналогічний ступінь водонасиченості. Так, вага зразків, орієнтованих у напрямках X (вздовж) і Y (впоперек) нашарування практично не змінилась, а у напрямку Z (також вздовж) зросла на 0,6 %. У зв'язку з цим, відповідно у двох напрямках (X, Y) початкові значення і характер температурних залежностей теплопровідності майже не змінились, а в зразку Z її величина збільшилась на

16 %. Також вздовж цього напрямку відбувається більш інтенсивна зміна λ при $T = 75 - 100^0$ C. Більш чітко різниця між сухим та водонасиченим зразками видна при усередненні даних за трьома напрямками. У цілому, температурні залежності пісковиків та сланців досить суттєво різняться поміж собою (рис. 11).

Баричні дослідження. Метод температурних хвиль (РТР 3-го роду) надає можливість одержувати увесь комплекс теплофізичних параметрів зразків порід [11, 15]. Температуропровідність і питому теплоємність – безпосередньо вимірюванням, а теплопровідність – розрахунком за даними параметрами та щільністю породи. Різниця у початкових значеннях λ , одержаних цим методом та за допомогою приладу ИТ- λ -400 не перевищує 10 %.

У зв'язку з тим, що пісковики і сланці мають досить широкий діапазон початкових значень температур та теплопровідності, баричні залежності побудовано не в абсолютних, а у відносних (до початкового) величинах. Усереднені (по двох зразках) графіки відносного змінення $\Delta a = a_p - a_0$ (рис. 12 а) та $\Delta \lambda = \lambda_p - \lambda_0$ (рис. 12 б) від тиску подібні один до одного, тому що питома теплоємність порід практично не змінюється.

Для усіх залежностей характерне майже одноманітне нелінійне зростання обох теплових параметрів від гідростатичного тиску, при цьому, пісковики мають більш інтенсивні їх зміни.

Кількісні характеристики одержаних параметрів деяких зразків порід надані у табл. 4.

Одержані результати (табл. 4) добре зіставляються з даними аналогічних досліджень інших авторів іншими методами вимірювань [25, 26].

Таблиця 4
 Теплофізичні параметри вивчених порід

Порода	№ зр.	ρ г/см ³	$\lambda_{ит}$ Вт/м·К	C Дж/кг·К	a 10 ⁻⁷ м ² /с	λ_* Вт/м·К
Пісковик т/з	III-3y	2,58	2,47	1030/1024	9,08/9,88	2,41/2,59
Пісковик т/з	III-1x	2,57	3,50	1005/1031	13,00/14,26	3,36/3,82
Сланець алевр.	II-2y	2,64	1,74	1184/1184	5,48/5,92	1,71/1,85
Сланець алевр.	VI-2z	2,67	2,70	1038/1024	9,92/10,96	2,75/3,02

Значення теплопровідності, одержані: $\lambda_{\text{ит}}$ - вимірюванням на приладі ИТ- λ -400; λ_* - методом розрахунку за рівнянням $\lambda = C \cdot a \cdot p$; у знаменнику - значення параметрів за максимальним (0,35 ГПа) тиском.

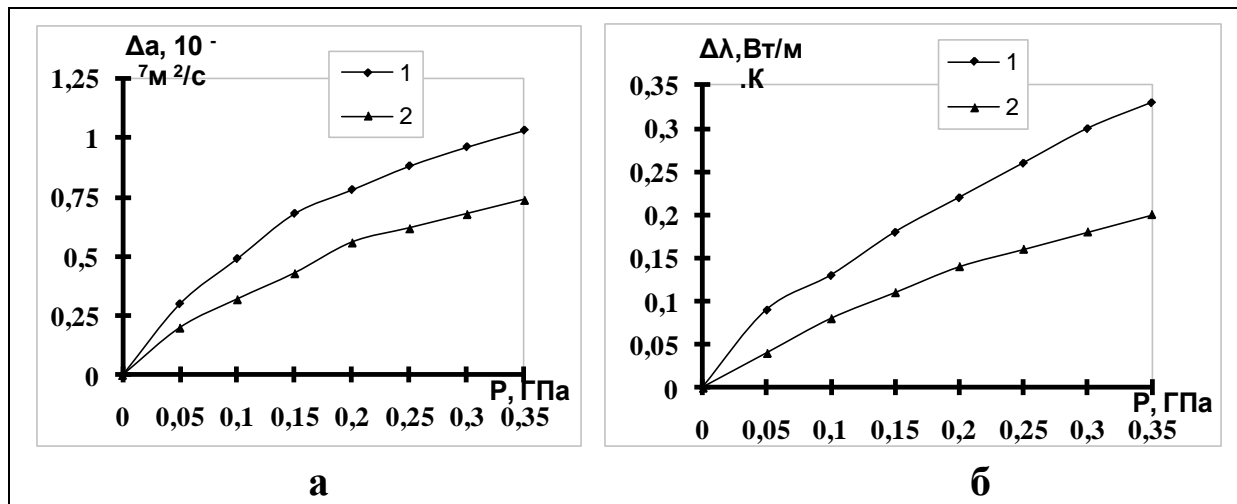


Рис. 12. а - усереднені баричні залежності відносних значень температуропровідності: 1 - пісковики; 2 - сланці алевролітові. б – усереднені баричні залежності відносних значень коефіцієнта теплопровідності: 1 - пісковики; 2 - сланці алевролітові

Електричні властивості. Вивчалися питомий електричний опір (ρ) і відносна діелектрична проникність (ϵ) осадових порід Донбасу при атмосферному тиску і кімнатній температурі. Вимірювання і розрахунок електричних параметрів здійснювалися за відомими методиками [15]. Досліджена колекція порід була представлена пісковиками, відібраними у восьми точках по чотири зразки в кожній. Зразки вибурювалися в трьох взаємно перпендикулярних напрямках по два дублі. Всього було досліджено 177 проб, 75 з яких було вивчено сухими і 74 - водонасиченими. Аналізувалися результати 1300 вимірювань електричних параметрів. Дані групувалися з урахуванням типологізації зразків порід по розмірах уламкового матеріалу.

В залежності від розміру зерен спостерігається зростання електричного опору і зменшення діелектричної проникності і вологості порід. Середні значення електричного опору вимірюного на постійному струмі ($\rho_{\text{п}}$) для сухих, повітряно-сухих і насичених

дистильованою водою зразків, складають відповідно: алевроліти – $1,06 \times 10^7$, $1,04 \times 10^5$, $3,74 \times 10^4$ Ом·м; пісковики тонкозернисті – $1,54 \times 10^7$, $6,46 \times 10^5$, $3,95 \times 10^4$ Ом·м; пісковики дрібнозернисті – $2,44 \times 10^8$, $3,29 \times 10^6$, $6,40 \times 10^4$ Ом·м; пісковики середньозернисті – $8,26 \times 10^8$, $6,70 \times 10^8$, $1,42 \times 10^5$ Ом·м; пісковики грубозернисті – $\rho_{п-с} = 3,71 \times 10^9$ Ом·м. Істотна диференціація по цьому параметру фіксується у повітряно-сухих і сухих зразків, насичення ж дистильованою водою, її дещо нівелює. За середніми значеннями діелектричної проникності істотно диференціюються повітряно-сухі зразки, відмінності між сухими і насиченими водою зразками суттєво зменшуються.

Аналіз гістограм розподілу електрофізичних параметрів по п'яти дослідженим літологічним групам дозволив зробити наступні висновки. Спостерігається тенденція до диференціації за значеннями електричних параметрів досліджених зразків в залежності від розмірів зерен уламкового матеріалу, цементу і їх кількісного відношення. Також простежується тенденція до диференціації електричних параметрів за регіональним принципом, в залежності від геолого-тектонічних умов, а також умов і ступеня метаморфізму. Наприклад, алевроліти, представлені в досліджених пробах, були відібрані в трьох геологічних утвореннях з різних глибин. Інтервал змін електричного опору алевролітів, виміряного на змінному струмі складає 1,5 порядку. На гістограмі розподілу I_{gr} (рис. 13, а) добре видно два максимуми щільності розподілу.

Максимальне значення I_{gr} – 5,4, а мінімальне – 3,9. Слід зазначити, що I_{gr} алевролітів, відібраних на шахтах Ольховська і Щегловка-глибока змінюється у вузьких діапазонах, ніж інших алевролітів дослідженої вибірки, причому алевроліти першої шахти більш високоомні (I_{gr} змінюється від 4,6 до 5,4), а другої більш низькоомні (інтервал змін I_{gr} від 3,9 до 4,6). По відносній діелектричній проникності виміряній на частоті 1 кГц на гістограмі розподілу I_{ϵ_1} вони знаходяться в інтервалі 3,4-4,7 (зразки шахти Щегловка-Глибока) і 3,0-3,6 (зразки шахти Ольховська) (рис. 13, б). Пісковики тонкозернисті (розмір зерен 0,09-0,13 (до 0,17) мм) за всіма дослідженими електрофізичними параметрами, розділяються на групи залежно від складу, процентного вмісту цементу і за регіональними ознаками. Подібна картина спостері-

гається у дрібнозернистих і середньозернистих пісковиків. Зразки грубозернистих пісковиків (розмір зерен 0,41-0,55 (до 0,69 мм), відібрані в кар'єрах Єленівка (головна антикліналь) і Зуєвка (Зуєвський купол), чітко різняться за значеннями електричних параметрів. Більш високоомними з меншою діелектричною проникністю є проби відібрані в кар'єрі Зуєвка, менші значення електроопору і відносної діелектричної проникності притаманні зразкам з кар'єру Єленівка, що добре видно з ілюстрацій (рис. 13 в, г).

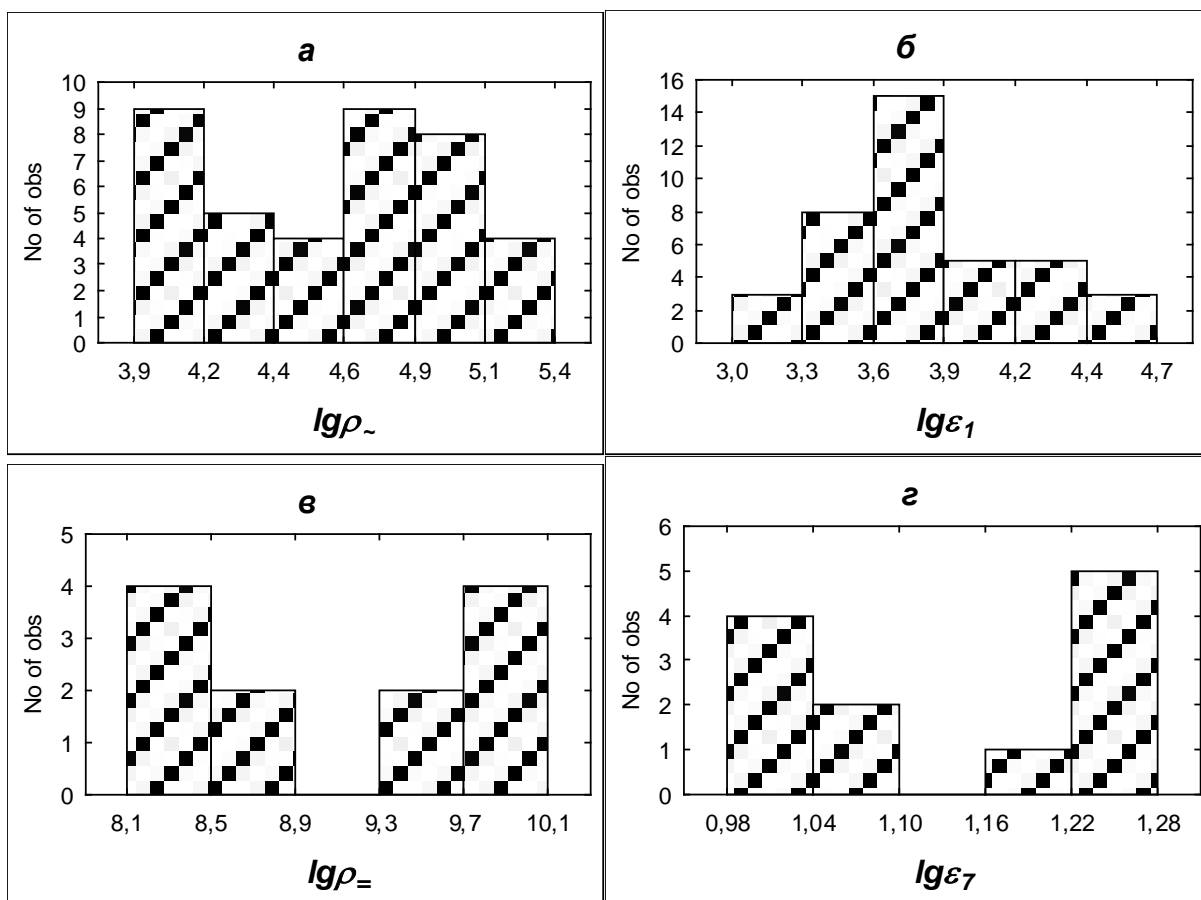


Рис. 13. Гістограми розподілу: а – логарифма електроопору виміряного на змінному струмі, б – логарифма відносної діелектричної проникності виміряної на частоті 1 кГц алевролітів; у – логарифма електроопору зміряного на постійному струмі, г – логарифма відносної діелектричної проникності зміряної на частоті 700 кГц зразків грубозернистих пісковиків

Розуміння природи змін фізичних властивостей осадових порід в залежності від їх складу, будови, ступеня і умов метаморфізму і інших чинників вимагає також детального дослідження кореляційних залежностей між дослідженими параметрами. На прикладі вивчених зразків були проаналізовані кореляційні зв'язки між питомим електричним опором, відносною діелектричною проникністю, вологістю і процентним вмістом цементу (табл. 5).

Таблиця 5

Коефіцієнти кореляції r між електрофізичними параметрами

Повітряно-сухі зразки (вся вибірка)						
n=169	Цемент,%	Wп-с %	$\lg\rho_{\equiv}$	$\lg\varepsilon_7$	$\lg\rho_{\sim}$	$\lg\varepsilon_1$
Цемент,%		0,58	-0,44	0,61	-0,52	0,58
Wп-с %	0,58		-0,74	0,8	-0,8	0,88
$\lg\rho_{\equiv}$	-0,44	-0,74		-0,92	0,98	-0,91
$\lg\varepsilon_7$	0,61	0,8	-0,92		-0,95	0,93
$\lg\rho_{\sim}$	-0,52	-0,8	0,98	-0,95		-0,95
$\lg\varepsilon_1$	0,58	0,88	-0,91	0,93	-0,95	

*n-кількість зразків у вибірці

Зазначимо, що між більшістю досліджених параметрів фіксуються надійні лінійні кореляційні залежності, як для окремих виділених груп, так і для всієї вибірки. Так, фіксується прямо пропорційна залежність для всіх повітряно-сухих зразків між відносною діелектричною проникністю, виміряною на частоті 700 кГц (ε_7), і вмістом цементу (коефіцієнт кореляції $r = 0,7$), а також між $\lg\varepsilon_1$ і цим же параметром ($r = 0,58$), що обумовлене залежністю цих характеристик від вологості (рис. 2, а, б). Для цієї ж вибірки зафіксовані обернено пропорційні залежності між $\lg\varepsilon_1$, $\lg\varepsilon_7$ і $\lg\rho_{\sim}$ ($r = -0,95$) (рис. 14 в, г).

Фізична природа тісної обернено пропорційної залежності між питомим електричним опором і відносною діелектричною проникністю досліджених зразків обумовлена наступним. Теоретично показано [27], що поляризація діелектриків веде до зменшення енергії кристалічної решітки, при цьому енергія, яка необхідна для переміщення струмоносіїв істотно зменшується. Ви-

граш енергії, обумовлений поляризацією ґраток біля вакансії і міжвузловим іоном, визначається виразом:

$$W = q / 2R(1 - 1/\epsilon),$$

де q - заряд, R - радіус аніона або катіона. Таким чином, чим більша діелектрична проникність, тим менша енергія активації токоносіїв і менше електроопір. Збільшення діелектричної проникності за рахунок збільшення поляризації зразків приводить до зменшення енергії кристалічної решітки і відповідно зменшенню сили зв'язку струмоутворюючих іонів. Зразки з більшою поляризацією характеризуються великим числом рухомих іонів, які беруть участь у формуванні електропровідності, яка в кінцевому результаті знижує величину питомого електричного опору.

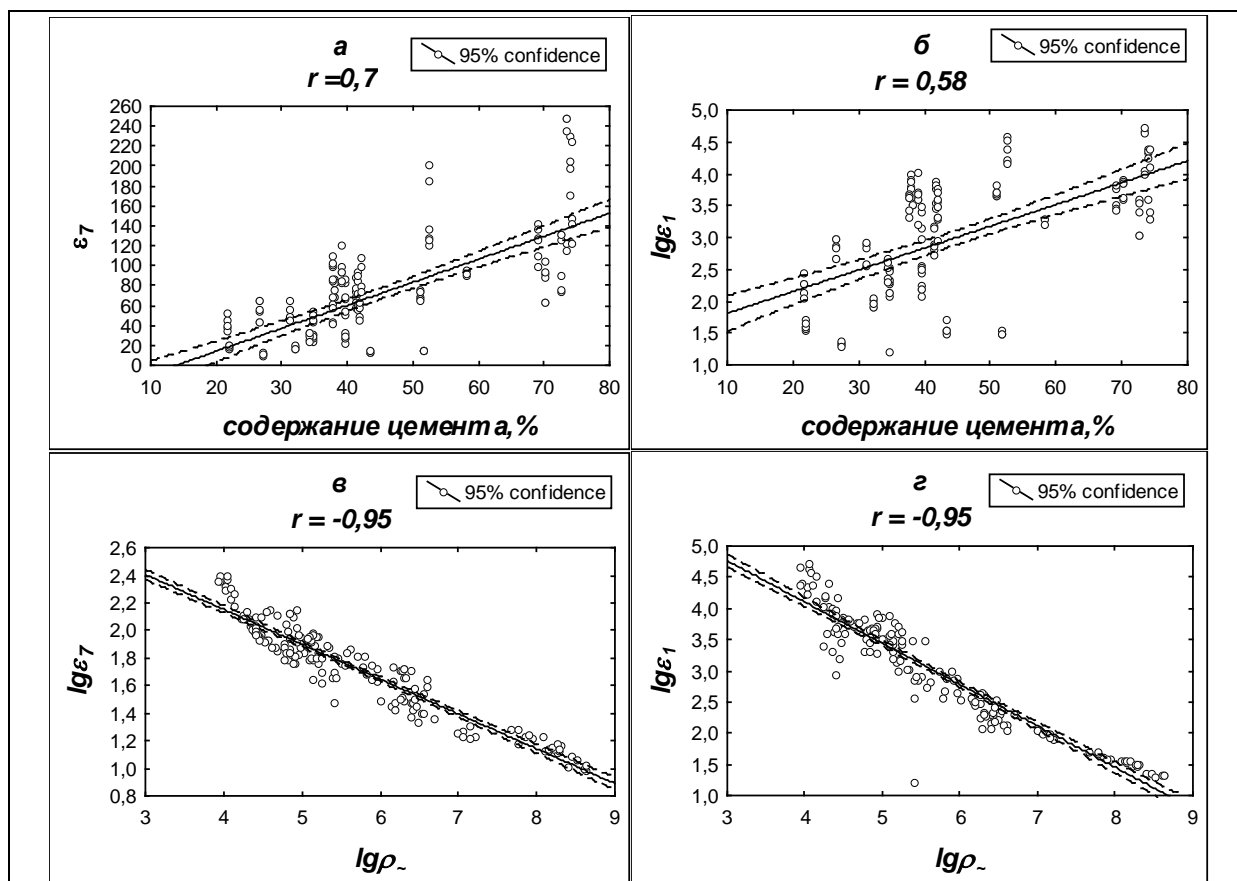


Рис. 14. Кореляційні залежності: а, б – між вмістом цементу (%) і а – відносною діелектричною проникністю (700 кГц), б – $\lg \epsilon_1$; в, г – між $\lg \rho_{\sim}$ і $\lg \epsilon_7$ (в), і $\lg \epsilon_1$ (г) повітряно-сухих зразків

Висновки. 1. Вперше виконані широкомасштабні комплексні петрофізичні дослідження осадових порід, які перекривають або підстилають вугленосні шари восьми різних площ Донбасу.

2. Закономірні зміни за площею таких особливостей як порожнечність, вугленосність, склад і якість вугілля відкладень порід свит C_2^3 , C_2^5 , C_2^6 були основними аргументами для вибору середнього карбону як об'єкту для досліджень фізичних властивостей в різних РТ-режимах дослідів і з'ясування загальних закономірностей розподілу петрофізичних характеристик вугленосних відкладень. Між швидкостями і деякими петрофізичними параметрами виявлені кореляційні залежності, які вказують на тенденцію позитивного зв'язку щільності і швидкості, негативній швидкості (сухих і водонасичених) від ступеня водонасиченості. Зміни V_p , V_s , і ρ від водонасиченості і осьового тиску добре корелюють із зернистістю, цементом і об'ємом уламкових матеріалів в породі. Алевролітові породи (за малим виключенням) характеризуються найбільш високими значеннями V_p , V_s і щільністю. Із збільшенням зерен зменшуються V_p , V_s і ρ , проте ростуть градієнти зміни цих параметрів від осьового навантаження.

Виявлена диференціація від водонасичення і осьового навантаження порід різних площ Донбасу, тобто спостерігається регіональна диференціація порід, обумовлена тектонічними і техногенними особливостями окремих ділянок.

3. Як пісковики, так і сланці мають досить широкий діапазон змін початкових значень усіх теплофізичних параметрів, що обумовлено коливанням їх мінерального складу та пористості. Між теплопровідністю та щільністю пісковиків є відповідна кореляція ($r > 0,69$). Насичення водою вивчених зразків порід (при пористості до 10 %) збільшує їх теплопровідність на 16-25 %. Анізотропія теплопровідності є суттєвим фактором, який може грати певну роль у формуванні аномалій теплового поля.

Температурні залежності теплопровідності сухих зразків пісковиків та алевролітів подібні між собою – характеризуються поступовим її зменшенням по майже лінійному закону до температури 250-275 °С. З подальшим нагріванням теплопровідність практично не змінюється. Величина $\lambda_{\text{поч}}$ пісковиків при нагріванні до максимальної температури зменшується на 38 %, тоді як

сланців - на 23 %, у водонасичених - на 41 і 26 %. Найбільш суттєво вплив водонасичення на зменшення теплопровідності при нагріванні проявляється у пісковиків в інтервалі температур 75-200 °С. Баричні залежності відносних змін температуро - та теплопровідності обох порід також подібні між собою - одноманітне нелінійне зростання (на 7-10 %) від тиску, однак, у пісковиків зростання λ більш інтенсивне. Питома теплоємність в усьому інтервалі тисків майже не змінюється.

Окремий вплив температури і тиску по-різному змінює теплопровідність вивчених порід, а одночасний, безсумнівно, ускладнить цей процес. При відповідних термобаричних умовах у надрах конкретних геологічних регіонів вплив одного з цих факторів може переважати, що багато у чому і буде визначати характер її зміни на різних глибинах. На глибині можливого знаходження даних порід (біля 3 км) в РТ-умовах Донбасу ($P \approx 0,08$ ГПа, $T \approx 70^\circ\text{C}$) можна прогнозувати незначне (2-4 %) збільшення їх коефіцієнта теплопровідності.

4. Встановлена чітка диференціація питомого електричного опору і відносної діелектричної проникності осадових порід по гранулометричному складу. Найбільш високоомними, з найменшою діелектричною проникністю, виявилися грубозернисті пісковики. Найбільша діелектрична проникність і найнижчі значення електричного опору властиві алевролітам. Спостерігається прямо пропорційний зв'язок між процентним вмістом цементу і діелектричною проникністю.

Обезводнення і насичення проб водою знижує диференціацію електрофізичних параметрів, проте між ними зберігаються достатньо надійні кореляційні зв'язки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Корчин В.А. Комплексное петрофизическое изучение некоторых осадочных пород Донбасса в различных лабораторных условиях опытов / [В.А. Корчин, П.А. Буртный, Е.Е. Карнаухова и др.] // Геофизический журнал. – 2008. – 30, № 4. – С. 25 – 59.

2. Корчин В.А. Упругие характеристики пород Донбасса в экспериментальных условиях высоких давлений / В.А. Корчин, П.А. Буртний, Е.Е. Карнаухова // Геологія, геохімія горючих копалин. – 2008. – № 4. – С. 37 – 50.
3. Kobolev V.P. Thermobaric petrophysical characteristics of sandstones of different tectonic areas of Donbas / [V.P. Kobolev, V.A. Korchin, P.A. Butrny at al.] // Abstracts of 7th European Coal Conference. – August 26-29, 2008, Lviv, Ukraine. – P. 68 – 69.
4. Донецкий бассейн. В кн.: Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР, т. 1. – Москва, 1963. – С. 11 - 988.
5. Кравцов А.И. Месторождения горючих полезных ископаемых / А.И. Кравцов, Н.И. Погребнов. – Москва: Недра, 1975. – 149 с.
6. Корреляция угольных отложений и угольных пластов в Донском бассейне / [Под редакцией А.В. Македонова]. – Ленинград: Наука, 1972. – 112 с.
7. Анциферов А.В. Газоносность угольных месторождений Донбасса / [А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, М.Т. Хохлов и др.] – Киев: Наук. думка, 2004. – 231 с.
8. Глушко В.Т. Результаты исследований физико-механических свойств пород Донбасса и природных факторов, определяющих их поведение в горных выработках / В.Т. Глушко, Б.М. Усеченко, Г.Т. Кирниченский. – Киев: Наук. думка, 1971. – 250 с.
9. Физические свойства осадочного чехла Восточно-Европейской платформы. / [Под ред. Н.В. Подоба, М.Л. Озерской]. – Москва: Недра, 1975. – 280 с.
10. Корчин В.А. Прогнозирование геологической среды земной коры по материалам ГСЗ и петрофизического термобарического исследования минерального вещества / В.А. Корчин, П.А. Буртний, Е.Е. Карнаухова // Геодинаміка. – 2009. – № 1(8). – С. 67 – 75.
11. Добрынин В.М. Геолого-геофизические методы прогнозирования аномальных пластовых давлений / В.М. Добрынин, В.А. Серебряков. – Москва: Недра, 1989. – 288 с.

12. Марморштейн Л.М. Петрофизические свойства осадочных пород при высоких давлениях и температурах / Л.М. Марморштейн. – Москва: Недра, 1985. – 190 с.
13. Справочник по физическим свойствам минеральных и горных пород при высоких термодинамических параметрах / [Под ред. М.П. Воларович]. – Москва: Недра, 1978. – 238с.
14. Лебедев Т.С. Физические свойства минерального вещества в термобарических условиях литосферы / [Т.С. Лебедев, В.А. Корчин, Б.Я. Савенко и др.]. – К.: Наук. думка, 1986. – 200 с.
15. Лебедев Т.С. Петрофизические исследования при высоких РТ-параметрах и их геофизические приложения / [Т.С. Лебедев, В.А. Корчин, Б.Я. Савенко и др.]. – Киев: Наук. думка, 1988. – 248 с.
16. Корчин В.А. Термобарическое петроструктурное моделирование земной коры Украинского щита и природа некоторых сейсмических границ / В.А. Корчин // Материалы V-х геофизических чтений им. В.В. Федынского. – Москва: Центр ГЕОН, 2003. – С. 83.
17. Лебедев Т.С. Упругая анизотропия пород и структурные преобразования отдельных геоблоков района Южно-Украинской АЭС / Т.С. Лебедев, В.А. Корчин, П.А. Буртный // Геофизический журнал. – 1994. – 16, № 4. – С. 27 – 36.
18. Korchin V.A. Reconstruction of the complicated stress state of a massif using data of elastic anisotropy as well as structural and textural features of rocks / Korchin V.A., Lebedev T.S., Burtny P.A. // Abstracts of the Intern. Conf. on Textures and Physical Properties of Rocks. – Gottingen, Germany, 1999. – P. 5.
19. Korchin V.A. Reconstruction of the complicated stress state of a massif using data of elastic anisotropy as well as structural and textural measures of rocks / Korchin V.A., Burtny P.A., Karnaukhova E.E. // XXIV IUGG General Assembly: Earth: our changing planet, July 2nd-13th, 2007. – Perugia, Italy, 2007. – JSS001. – CD ROM.
20. Кабранова В.Н. Определение электрофизических характеристик по образцам / [В.Н. Кабранова, Б.И. Извеков, С.Л. Пацевич и др.] – Москва: Недра, 1977, – 432 с.

21. Корчин В.А. Структурные особенности минеральной среды в РТ-условиях различных глубин земной коры / В.А. Корчин // Геофиз. журн. – 2007. – 29, № 3. – С. 49 – 77.
22. Измеритель теплопроводности ИТ-λ-400: Инструкция по эксплуатации. – Госстандарт СССР, 1980. – 39 с.
23. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов. – Ленинград: Энергия, 1973. – 142 с.
24. Коболев В.П. Теплопроводность некоторых гранитоидов Украинского щита в термобарических условиях земной коры / В.П. Коболев, И.Н. Свищук, В.И. Шаповал, Е.Е. Карнаухова // Геофизический журнал. – 2007. – 29, № 3. – С. 37 – 48.
25. Кугас Р.И. Земной тепловой поток Донбасса / Р.И. Кугас, М.И. Бевзюк // Геофизический журнал. – 1992. – 14, № 2. – С. 14 – 22.
26. Гордиенко В.В. Тепловое поле территории Украины / В.В. Гордиенко, И.В. Гордиенко, О.В. Завгородняя, О.В. Усенко. – Киев: Знание Украины, 2002. – 169 с.
27. Лидьярд А. Ионная проводимость кристаллов / А. Лидьярд. – Москва: ИЛ, 1962. – 222 с.