

Кореляційні залежності петрофізичних параметрів порід Українського щита за різних тисків і температур

О. Є. Карнаухова, 2025

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

Використовуючи розширений банк даних Українського щита, проведено пошук кореляційних взаємозалежностей між петрофізичними параметрами порід. Підтверджено диференціацію виділених груп порід різного мінерального складу за швидкостями поширення у них пружних хвиль і щільності за різних тисків і температур. Встановлено наявність однозначних, переважно прямо пропорційних залежностей між пружними, пружними та електричними параметрами з достатньо високими парними коефіцієнтами кореляції.

Ключові слова: Український щит, структурно-текстурні особливості, мінеральний склад гірських порід, фізичні параметри, тиск, температура, кореляційні залежності.

Вступ. Комплексне дослідження пружно-щільнісних, теплових та електричних властивостей гірських порід в умовах одночасного впливу високих тисків (P) і температур (T), що відповідають різним глибинам їх залягання, дало можливість розробити низку методик, зокрема петрофізичного термобаричного моделювання при інтерпретації геофізичної інформації польових спостережень і особливо деяких аномалій [Корчини др., 2016; Буртний та ін., 2023]. Прямого фізичного зв'язку між петрофізичними параметрами часто немає. Проте, вивчаючи дефектно-структурні та фізичні характеристики порід у різних PT -умовах (лабораторних або натурних), виявлено досить цікаві взаємодоповнюючі закономірності їх зміни залежно від пористості, вологості, структурної дезінтеграції. Цьому сприяв розвиток та вдосконалення методики статистичної обробки петрофізичних даних за високих P і T , яка багато в чому є самостійним та оригінальним напрямом дослідження твердих тіл. Основна особливість гірських порід — різноманітність їх речовинного (мінерального)

складу, текстур, структур, дефектності, а звідси їх фізичних параметрів навіть для зразків одного родовища. Тому в зниженні неоднозначності отриманих результатів моделювання основне значення набуває статистична обробка даних при виборі об'єктів дослідження. За таких досліджень також мають враховуватися геолого-геофізичні дані, місце відбору зразків, зміни умов довкілля, часу тощо.

Результати досліджень. Досліджувані породи були розбиті на групи за мінеральним складом, структурно-текстурними особливостями, які найповніше характеризують Український щит (УЩ). Це різноманітні гранітоїди, діорити, основні та ультраосновні породи, гнейси. Було відібрано близько 300 зразків, менш змінених і без прихованих дефектів. Всі матеріали досліджень фізичних характеристик порід спільно з мінеральним складом кожного зразка були піддані статистичній обробці. Використовували програму STATISTICA 12, аналітичний пакет EXCEL, а також метод багатовимірного кореляційно-регресійного аналізу.

Citation: Karnaukhova, O.Ye. (2025). Correlation dependences of petrophysical parameters of rocks of the Ukrainian Shield under different pressures and temperatures. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2), 226—230. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322539>.

Publisher S. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Для всіх груп порід УЩ різного мінерального складу підтверджено диференціацію за швидкостями поширення в них пружних хвиль і щільністю (ρ). Ця властивість порід, виявлена за атмосферних умов і кімнатної температури, також існує в умовах високого гідростатичного тиску (P_r) і зберігається за одночасного впливу високих P і T . Значення пружно-щільнісних параметрів у магматичних і ультраметаморфічних породах зростають від кислих до основних різновидів (таблиця). У метаморфічних порід диференціація більше залежить від відсоткового вмісту високошвидкісних та високощільнісних мінералів — піроксену і амфіболу, а також від структурно-текстурних особливостей.

Аналіз парних кореляційних залежностей швидкостей поширення пружних

хвиль поздовжньої (V_p) і поперечної поляризації (V_s) від вмісту головних породоутворюючих мінералів у гранітоїдах за дії на них різних P і T показав, що зі збільшенням вмісту кварцу пружні швидкості падають, зі збільшенням вмісту плагіоклазу — зростають, збільшення вмісту біотиту зменшує їх значення. Зі збільшенням вмісту піроксену, амфіболу зростають і швидкості поширення пружних хвиль [Буртний та ін., 2023].

Зі збільшенням основності порід істотну роль у залежностях пружних швидкостей від зовнішніх навантажень має вміст темноколірних мінералів — амфіболу і піроксену. Калієвий польовий шпат меншою мірою впливає на значення пружних швидкостей. Для більшості груп порід спостерігається тенденція до зменшення вели-

Середні значення пружно-щільнісних параметрів та середній мінеральний склад основних груп порід УЩ за атмосферних умов

$V_{P'}$, км/с	$V_{S'}$, км/с	ρ , г/см ³	Мінеральний склад (об.%)											
			Плагіоклаз	КПШ	Кварц	Біотит	Піроксен	Амфібол	Олівін	Актиноліт	Дроблена маса	Акцесорні мін.	Вторинні мін.	
Граніти рівномірнозернисті														
5,73	3,23	2,626	35,3	29,1	26,6	6,6	2,8	—	—	—	—	1,8	1,3	
Граніти порфіроподібні														
5,81	3,38	2,691	35,5	20,4	27,3	11,6	—	3,1	—	—	—	2,1	16,2	
Граніти новоукраїнські														
5,75	3,46	2,661	27,3	38,1	26,5	4,3	1,2	2,9	—	—	3,9	1,0	3,2	
Плагіограніти														
5,95	3,42	2,706	54,8	20,7	22,5	12,5	2,0	6,3	—	—	50,4	1,6	17,7	
Діорити														
6,09	3,43	2,774	70,1	0,5	10,9	6,6	—	10,0	—	—	—	2,3	—	
Чарнокітоїди														
6,26	3,59	2,770	39,4	17,7	28,1	3,1	11,5	4,8	—	—	—	2,9	0,6	
Породи основного складу														
6,73	3,65	2,863	72,1	0,5	2,80	3,2	13,8	3,00	—	—	—	4,1	0,8	
Породи ультраосновного складу														
6,37	3,73	3,180	—	—	—	—	23,9	22,3	3,92	17,4	—	14	15,1	
Гнейси біотитові														
5,79	3,42	2,715	35,9	3,3	44,1	15,6	—	—	—	—	—	—	1,1	
Гнейси амфібол-піроксенового складу														
6,67	3,75	3,096	31,3	—	3,3	3,3	38,6	26,7	—	—	—	4,2	—	

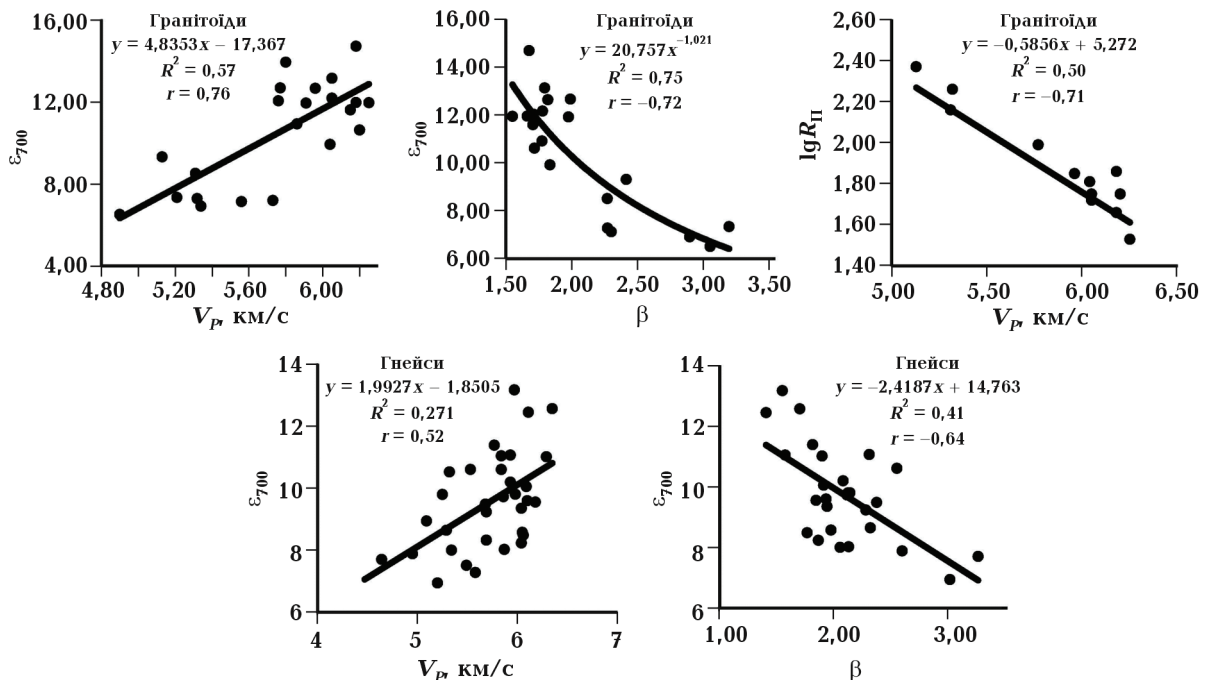
чин коефіцієнтів парних (r) і множинних кореляцій із зростанням PT -параметрів. Це свідчить про те, що з глибиною диференціація порід за пружними параметрами слабшає (у межах земної кори). На ділянці інверсії швидкості залежностей $V_{P,S}=f(PT)=f(H)$ або у зонах низьких швидкостей (ЗНШ), які можуть бути провідниками міграції та локалізації вуглеводнів глибинного походження, вплив мінерального складу на пружні параметри порід виявляється невисоким і значно меншим, ніж структурні перетворення порід [Korchin, 2017; Буртний та ін., 2023].

Пористість і структурно-текстурні особливості гранітоїдів є основними факторами, що зумовлюють зміну V_P за тиску до 3,5 кбар у зразках однакового мінерального складу. Встановлено, що вищі значення пружних параметрів мають породи з низькою тріщинуватістю і пористістю (n). Виявлено чітку нелінійну залежність швидкості від n за атмосферного тиску для гранітоїдів, що відрізняються за величиною зерен

породоутворюючих мінералів. Градієнти зміни $V_P=f(n)$ зростають із збільшенням їх розмірів. Серед кислих порід близького мінерального складу найбільші значення $V_{P,S}$ мають грубозернисті утворення і зразки з помірним і підвищеним вмістом кварцу.

Вміст кварцу є суттєвим фактором, що впливає на величину теплопровідності (λ) породи загалом. На це вказує досить високий коефіцієнт парної кореляції ($r=0,87\div\pm 0,89$). За характером осереднених температурних залежностей проявляється чітка диференціація кварцвмісних (граніти, кварцові діорити) і безкварцових порід (габро, піроксеніти). Перші мають вищі градієнти зменшення теплопровідності з нагріванням, в останніх вона залишається майже не змінною.

Аналіз впливу мінерального складу на електричні параметри показав, що для більшості груп порід УЩ із підвищенням сумарного вмісту кварцу та плагіоклазу з різною інтенсивністю для різних типів порід зростає питомий електричний опір (R_{Π})



Кореляційні залежності між пружними та електричними параметрами для гранітоїдів і гнейсів Українського щита за атмосферних умов.

Correlations between elastic and electrical parameters for granitoids and gneisses of the Ukrainian Shield under atmospheric conditions.

і знижується діелектрична проникність (ϵ). Зі збільшенням кількості рудних мінералів зменшується R_{Π} та збільшується ϵ .

Статистичними дослідженнями встановлено, що за атмосферних умов, за дії P_r , а також за дії високих P і T , зберігаються високі парні кореляційні залежності між V_P та V_S ($r=0,94\pm 0,96$). Існування такого тісного зв'язку можна використовувати у випадках, коли немає достатньої інформації про швидкості V_S . Наприклад, матеріали ГСЗ зазвичай представлені зміною із глибиною V_P . Тому, використовуючи розрахункові залежності $V_S=f(V_P)$, можна зробити розріз ГСЗ більш інформативним.

У результаті статистичного аналізу встановлено наявність однозначних, хоч і відносно слабких взаємозалежностей між теплопровідністю порід та їх пружними характеристиками (величина коефіцієнтів парних кореляцій варіює у межах від 0,3 до 0,5). Фіксуються чіткі прямопропорційні залежності.

Проаналізовано кореляційні залежності між $V_{P,S}$, ρ , стисливістю (β), R_{Π} , відносною діелектричною проникністю зразків на частоті 700 кГц (ϵ_{700}) в умовах атмосферного тиску і кімнатної температури повітряно-сухих проб. R_{Π} вимірювали на постійному струмі [Буртний та ін., 2023]. Виявлено чітку кореляцію між цими параметрами з достатньо високими коефіцієнтами r . Деякі результати представлені на рисунку.

Для гранітоїдів виявлено лінійні залежності виду $\epsilon_{700}=-A+BV_P(r=0,76)$ та $\lg R_{\Pi}=$

$=A-BV_P(r=-0,71)$ і нелінійна $\epsilon_{700}=20,757\beta^{-1,021}$ ($r=-0,72$); для гнейсів — $\epsilon_{700}=-A+BV_P(r=0,52)$ і $\epsilon_{700}=A-B\beta(r=-0,64)$. Розкид точок від апроксимаційних кривих становить трохи більше 20 %. Значення r значною мірою зумовлені структурними особливостями та дефектним станом мінеральної речовини. Для дрібно-і середньозернистих порід досконалої структури ці залежності проявляються чіткіше порівняно із крупнозернистими, які мають ослаблені міжзернові контакти. Тісний зв'язок між цими параметрами може порушитись лише при великих значеннях пористості у високоомних породах.

Висновки. У результаті виконаної статистичної обробки достатньо великого обсягу експериментального фактичного матеріалу встановлено наявність однозначних, хоч і різного ступеня достовірності, кореляційних взаємозалежностей між різними фізичними параметрами, мінеральним складом, структурно-текстурними особливостями для виділених типів порід УЩ. Отримані результати були використані під час петрофізичного термобаричного моделювання окремих ділянок УЩ з використанням даних ГСЗ [Корчин и др., 2016].

Результати аналізу структурно-дефектного стану мінеральної речовини в кореляційній залежності від електричних параметрів (R_{Π} і ϵ) можуть бути використані при побудові глибинних геоелектричних розрізів на підставі даних вибухової сейсмології, а також при створенні комплексних моделей літосфери та інтерпретації матеріалів польових геофізичних спостережень.

Список літератури

- Буртний П.О., Карнаухова О.Є., Коболев В.П., Корчин В.О., Кравчук М.В., Денисенко Б.В., Нех О.С. *Довідник (кадастр) фізичних параметрів гірських порід Українського щита за високих тисків і температур*. Київ: Наук. думка, 2023, 281 с. <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1878-5>.
- Корчин В.А., Буртний П.А., Коболев В.П. Зоны разуплотнения земной коры центральной части Украинского щита (по материалам петрофизического и сейсмогравитационного моделирования). *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 3. С. 84—99. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i3.2016.107781>.
- Korchin, V. (2017). Anomalies of low density in the crystal line crust of thermobaric origin: a new insight into migration and localization of hydrocarbons. In S. Gaci, O. Hachay (Eds.), *Monograph 72: Oil and Gas Exploration: Methods and Application* (pp. 237—257). American Geophysical Union, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119227519.ch15>.

Correlation dependences of petrophysical parameters of rocks of the Ukrainian Shield under different pressures and temperatures

O.Ye. Karnaukhova, 2025

S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Using an extended data bank of the Ukrainian Shield, a search for correlations between petrophysical parameters of rocks was conducted. The differentiation of selected groups of rocks of different mineral composition by the propagation velocities of elastic waves and density at different pressures and temperatures has been confirmed. Unambiguous, mainly directly proportional dependencies have been established between elastic, elastic and electrical parameters with high enough pair-wise correlation coefficients.

Key words: Ukrainian Shield, structural and textural features, mineral composition of rocks, physical parameters, pressure, temperature, correlation dependencies.

References

- Burtyny, P.V., Karnaukhova, O.Ye., Kobolev, V.P., Korchin, V.O., Kravchuk, M.V., Denysenko, B.V., & Nech, O.S. (2023). *Directory (cadastre) of physical parameters of rocks of the Ukrainian shield at high pressures and temperatures*. Kyiv: Naukova Dumka, 281 p. <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1878-5> (in Ukrainian).
- Korchin, V., Burtyny, P.A., & Kobolev, V.P. (2016). Zones of decompaction of the Earth crust of the central part of the Ukrainian Shield (according to materials of petrophysical and seismogravitational modeling). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(3), 84—99. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i3.2016.107781> (in Russian).
- Korchin, V. (2017). Anomalies of low density in the crystal line crust of thermobaric origin: a new insight into migration and localization of hydrocarbons. In S. Gaci, O. Hachay (Eds.), *Monograph 72: Oil and Gas Exploration: Methods and Application* (pp. 237—257). American Geophysical Union, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119227519.ch15>.