

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.83:552.1:537

С. Вижва, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vsa@univ.kiev.ua;В. Онищук, канд. геол. наук, асист.
E-mail: vitus16@ukr.net;М. Рева, канд. фіз.-мат. наук, доц.
E-mail: mvreva@gmail.com;І. Онищук, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: oiivan1@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна**ТЕХНОЛОГІЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЧАСОВИХ ЗМІН
ПЕТРОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб. І.М. Корчагіним)

У статті розглядаються особливості методики петроелектричних досліджень гірських порід, яка застосовується в лабораторії петрофізики ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Наведені та проаналізовані результати виконаних експериментальних досліджень часових змін електричного опору екстрагованих зразків гірських порід і потенціалів викликані поляризації (ВП) зразків порід, насичених моделлю пластової рідини. У результаті дослідних робіт удосконалена й застосована нестандартна методика лабораторних досліджень для визначення електричних властивостей гірських порід. Розроблена технологія лабораторних досліджень на постійному струмі часових змін електричних параметрів екстрагованих та насичених моделлю пластової води зразків осадових гірських порід з використанням цифрових тераомметра С.А. 6547 та мультиметра UT-70В. Виконані експериментальні дослідження за розробленою технологією. З метою з'ясування можливості використання зареєстрованих нестаціонарних процесів для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід розроблена оригінальна методика обробки й аналізу результатів лабораторних цифрових записів часових змін електричного опору сухих та потенціалів ВП насичених розчином зразків порід. Розроблена методика базується на використанні двох параметрів поляризації – поляризованості (η) та "швидкості поляризації" ($V_{\text{ВП}}$), що представляє собою похідну від поляризованості й характеризує швидкість зміни поляризованості в часі. Швидкість поляризації є петроелектричним параметром, який раніше практично не використовувався при лабораторних петрофізичних дослідженнях. Аналіз результатів виконаних лабораторних вимірювань показав, що цей параметр має більш стійкі кореляційні зв'язки з фізико-хімічними властивостями порід, ніж поляризованість, а отже в комплексі з поляризованістю може використовуватися для побудови комплексних петроелектричних моделей.

Ключові слова: порода, петрофізичний параметр, петрофізичні дослідження, фізичні властивості, електричний опір, поляризованість, швидкість поляризації.

Вступ. Лабораторні петрофізичні дослідження пов'язані із проведенням вимірювань фізичних параметрів на зразках гірських порід. Метою комплексних петрофізичних досліджень є отримання максимально повної інформації про фізичні властивості гірських порід як основи для подальшого вибору комплексу методів та методики інтерпретації. Особливе місце в комплексі петрофізичних досліджень займають петроелектричні, що пов'язано з наявністю кореляційних зв'язків електромагнітних властивостей з петрофізичними параметрами гірських утворень. Результати лабораторних петроелектричних досліджень використовуються при інтерпретації даних як свердловинної електрометрії (електрокаротажу), так і польової електророзвідки. Зокрема, при виконанні петрофізичних досліджень значна увага дослідників приділялася вивченню перехідних процесів електрохімічного походження з метою встановлення факторів, які б дозволяли виконувати геологічне тлумачення природи аномалій полів викликані поляризації (ВП). У більшості такі процеси вивчалися в гірських породах із наявними в них електропровідними мінералами для вирішення задач рудної електрометрії [4, 5, 11]. Цікавими є давні роботи [14, 15], спрямовані на встановлення зв'язку процесів викликані поляризації з якісним складом вугілля. Також досліджувалися процеси ВП в іонопровідних породах з метою встановлення, перш за все, природи цих процесів та використання їх особливостей для вирішення задач промислової геофізики [6, 8, 13, 16].

У лабораторії петрофізики кафедри геофізики Навчально-наукового інституту "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка виконуються експериментальні петроелектричні дослідження, в комплексі з іншими методами петрофізики та

методами якісного й кількісного аналізу мінерального складу гірських порід, з метою не тільки використання петроелектричних параметрів для визначення фільтраційно-ємнісних характеристик порід [12], а й можливого використання цих параметрів для прогнозування фізико-хімічних властивостей порід. Такі дослідження виконуються на сучасній технічній базі, що вимагає вдосконалення існуючих та розробку нових методик лабораторних електрометричних досліджень.

Важливою складовою методики петроелектричних досліджень є обробка результатів вимірювань, аналіз експериментальних даних та трактування одержаних залежностей [1-3, 10]. Безперечно, що досліджувані петрофізичні параметри відносяться до класу випадкових величин, а тому зв'язок між ними має стохастичний (ймовірнісний) характер. У зв'язку із цим для отримання уявлень про математичні моделі досліджуваних явищ (процесів), які виражаються відповідними рівняннями, під час обробки експериментальних даних застосовують методи кореляційно-регресійного аналізу. Результати кореляційного аналізу є вихідним матеріалом для отримання емпіричних формул – рівнянь регресії, що власне й виражають собою математичні моделі.

Практична задача кореляції фізичних властивостей порід за результатами лабораторних вимірювань вирішується на основі встановлення стохастичного зв'язку між цими властивостями. Такий зв'язок визначається за допомогою графіка кореляційної залежності вимірюваних параметрів або кореляційної таблиці. Графік залежності $y=f(x)$ з прийнятною нев'язкою точок дає можливість визначити математичну форму функції зв'язку. Рівняння цієї функції є рівнянням зв'язку між шуканою та вимірюваною ознаками. При цьому слід застосовувати таку функцію, яка б давала найменше відхилен-

ня теоретичних від експериментально визначених при лабораторних дослідженнях точок.

Найбільш широко вживаним методом знаходження рівняння зв'язку параметрів X та y є метод найменших квадратів (МНК) [1, 2]. Цей метод посідає виняткове місце серед методів математичної статистики, що застосовуються в процесі аналізу даних петрофізичних досліджень. Задачею МНК є оцінка закономірності, яка спостерігається на фоні випадкових коливань вимірюваної величини, та використання встановленої закономірності для подальших розрахунків, зокрема для прогнозів та параметричної оцінки *функції регресії*. Окрім того, за допомогою МНК визначають концепцію й методологію розв'язання оберненої задачі геофізики.

У даній роботі увага приділена вивченню часових змін електричного опору зразків порід при пропусканні через них постійного електричного струму. Цей ефект був виявлений у процесі рядових петроелектричних досліджень не тільки насичених розчинами зразків порід, а й екстрагованих, і потребував вивчення з метою встановлення зв'язку характеру часових змін з фізико-хімічними властивостями порід, а також з метою дослідження можливості його використання для побудови комплексних петроелектричних моделей. У статті наведені методика петроелектричних досліджень, алгоритми аналізу отриманих експериментальних вимірів, що ґрунтуються на використанні методів статисти-

чного аналізу та результати досліджень, проведених на їх основі.

Експериментальні дослідження. З метою вивчення процесів поляризації та можливості використання їх параметрів для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід розроблена оригінальна схема обробки цифрових записів зміни електричного опору з часом, отриманих у результаті лабораторних вимірювань. При цьому визначались два параметри поляризації: поляризованість η та "швидкість поляризації" $V_{\text{ВП}}$, що являє собою похідну від поляризованості і характеризує швидкість зміни поляризованості η – зміну поляризованості за 1 секунду (одиниця вимірювання – %/с (відсоток/секунду)). Слід відзначити, що це петроелектричний параметр, на який раніше мало звертали уваги при лабораторних петрофізичних дослідженнях. Аналіз отриманих в лабораторії петрофізики даних показав, що він має більш стійкі кореляційні зв'язки з фізико-хімічними властивостями порід, ніж поляризованість, відтак може використовуватися для побудови комплексних петроелектричних моделей.

Для визначень електричного опору на постійному струмі був розроблений лабораторний вимірювальний комплекс, складовими частинами якого є: спеціальний кернотримач, цифровий тераомметр С.А. 6547 та ЕОМ (рис. 1).

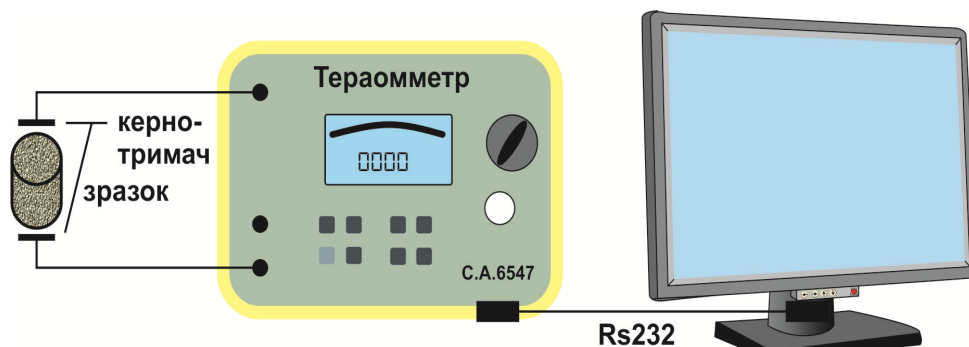


Рис.1. Схема вимірювання електричного опору сухих зразків керну

Під час лабораторних петроелектричних досліджень сухих (високоомних) зразків порід розробленим вимірювальним комплексом на постійному струмі була встановлена зміна їх електричного опору з часом. Очевидно, що нестаціонарність опору викликана процесами поляризації, які виникають у зразках порід при пропусканні через них електричного струму. Також зрозуміло, що зміна опору в часі може бути інформативним параметром, а відтак доцільним є вивчення особливостей часових змін електричного опору зразків порід з метою з'ясування можливості їх використання для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід.

Технологія досліджень нестаціонарного процесу у сухих зразках полягала в наступному. Циліндричний зразок вставлявся в спеціальний кернотримач. За допомогою цифрового тераомметра С.А. 6547 реєструвався електричний опір зразка із записом в ЕОМ за спеціальною програмою Data Viewer Professional з інтервалом 5 с. У результаті дослідих лабораторних робіт визначено оптимальний час запису кривої зміни електричного опору, що складає 120÷180 с. Типовий вид кривої зміни електричного опору з часом наведений на рис 2.

Для аналізу часових змін електричного опору був розроблений і застосований алгоритм обробки даних експериментальних вимірювань сухих зразків гірських порід, суть якого полягає в наступному:

1. Виконувалося функціональне згладжування кривої опору $R(t)$ за допомогою поліномів другого ($R(t)=at^2+bt+c$) або третього ($R(t)=at^3+bt^2+ct+d$) порядків у середовищі програм Excel або Statistica.

2. Визначалася поляризованість $\eta(t)$ та швидкість поляризації $V_{\text{ВП}}(t)$ зразка породи як функції часу. Для різних видів апроксимації формули розрахунку цих параметрів мають вигляд:

а) у разі апроксимації кривої опору $R(t)$ поліномом другого порядку

$$\eta(t) = 100 \cdot \left[1 - \frac{R(0)}{R(t)} \right] = 100 \cdot \left[1 - \frac{c}{at^2 + bt + c} \right], \%;$$

$$V_{\text{ВП}}(t) = \frac{d\eta}{dt} = 100 \cdot \frac{R(0) \cdot (dR/dt)}{[R(t)]^2} = 100 \cdot \frac{c \cdot (2at + b)}{(at^2 + bt + c)^2}, \frac{\%}{\text{с}},$$

де a, b, c – коефіцієнти полінома, t – час;

б) у разі апроксимації кривої опору поліномом третього порядку

$$\eta(t) = 100 \cdot \left[1 - \frac{R(0)}{R(t)} \right] = 100 \cdot \left[1 - \frac{d}{at^3 + bt^2 + ct + d} \right], \%;$$

$$V_{\text{ВП}}(t) = \frac{d\eta}{dt} = 100 \cdot \frac{R(0) \cdot (dR/dt)}{[R(t)]^2} =$$

$$= 100 \cdot \frac{d \cdot (3at^2 + 2bt + c)}{(at^3 + bt^2 + ct + d)^2}, \%,$$

де a, b, c, d – коефіцієнти полінома, t – час.

3. Виконувалася побудова графіків залежностей поляризованості і швидкості поляризації від часу та їх якісний і кількісний аналіз.

4. Встановлювалися кореляційні залежності між параметрами поляризації екстрагованих порід і вмістом основних петрогенних окислів: SiO_2 , CaO , MgO , $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$. Було встановлено, що ці залежності апроксимуються лінійними функціями типу

$V_{\text{ВП}} = aC_{xx} + b$, де C_{xx} – вміст петрогенних окислів у %; a і b – коефіцієнти рівняння.

Для дослідження поляризаційних ефектів у породах, насичених моделлю пластової води, була розроблена інша модифікація вимірювального комплексу, що складається із спеціального кернотримача, електровозбудувального генератора ЕРП-1, цифрового мультиметра UT-70В та ЕОМ (рис. 3). Необхідність такої модифікації вимірювального комплексу зумовлена тим, що цифровий тераомметр С.А. 6547 має нижню межу діапазону вимірювання електричного опору 30 кОм, що значно вище електричного опору зразків гірських порід, насичених моделлю пластової води.

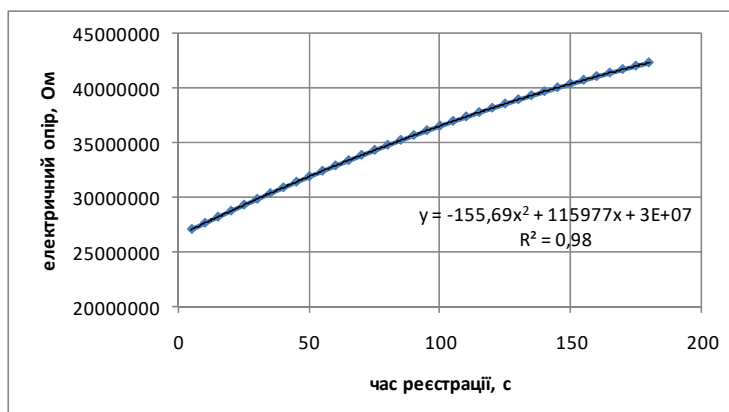


Рис. 2. Типова крива зміни електричного опору зразка сухого пісковика з часом. Зростання опору апроксимується поліномом 2-го порядку

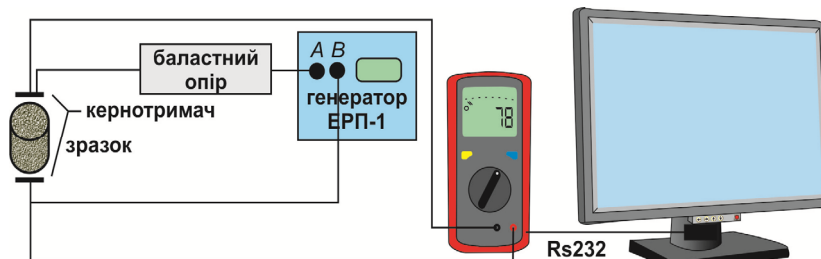


Рис. 3. Схема вимірювань зміни різниці потенціалів на зразках гірських порід, насичених моделлю пластової води

Технологія досліджень зразків за даною модифікацією вимірювального комплексу дещо відмінна від дослідження сухих зразків і полягає в наступному. Після фіксації зразка у спеціальному кернотримачі за допомогою цифрового мультиметра UT-70В впродовж 10–15 с реєструється різниця потенціалів на зразку (потенціал власної поляризації) із записом на ЕОМ за спеціальною програмою UNI-T з дискретизацією 1 с. Після запису різниці потенціалів власної поляризації, вмикається

генератор ЕРП-1 в режимі постійного стабілізованого струму силою від 1 до 10 мА й впродовж 120 с реєструється різниця потенціалів "пропускання" (або "зарядки") U_3 . Після чого генератор вимикається і на протязі 90–120 с реєструється різниця потенціалів "спаду" (або розрядки) $U_{\text{ВП}}$. Типова форма запису кривої зміни різниці потенціалів на зразку, насиченому моделлю пластової води, наведена на рис. 4.

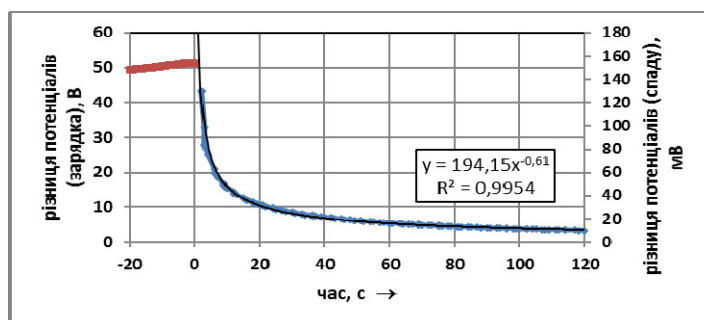


Рис. 4. Типова крива зміни різниці потенціалів з часом на зразку породи, насиченої моделлю пластової води. Спад різниці потенціалів поляризації апроксимується степеневою функцією

У результаті експериментальних досліджень зміни різниці потенціалів з часом на зразках порід, насичених моделлю пластової води, вивчено процес їх поляризації та оцінені можливості використання цього процесу для аналізу фізичних та фізико-хімічних властивостей гірських порід. З цією метою розроблена оригінальна схема обробки цифрових записів часових змін різниці потенціалів, отриманих у результаті лабораторних вимірювань. Алгоритм цієї обробки наступний.

1. Записана крива спаду різниці потенціалів викликаной поляризації $U_{\text{ВП}}(t)$ функціонально згладжувалася за допомогою степеневої ($U_{\text{ВП}}(t) = a \cdot t^b$) або логарифмічної ($U_{\text{ВП}}(t) = a \cdot \ln t + b$) функцій в середовищі програм Excel або Statistica.

2. Поляризованість $\eta(t)$ та швидкість поляризації $V_{\text{ВП}}(t)$ зразка породи, як функції часу, для різних видів апроксимації визначалися за такими розрахунковими формулами:

а) у випадку апроксимації кривої спаду різниці потенціалів викликаной поляризації степеневою функцією $U_{\text{ВП}}(t) = a \cdot t^b$

$$\eta(t) = 100 \cdot \frac{U_{\text{ВП}}(t)}{U_3} = 100 \cdot \frac{a \cdot t^b}{U_3}, \quad \%;$$

$$V_{\text{ВП}}(t) = \frac{d\eta}{dt} = 100 \cdot \frac{a \cdot b \cdot t^{b-1}}{U_3}, \quad \frac{\%}{\text{с}},$$

де a, b – коефіцієнти степеневої функції, t – час, U_3 – різниця потенціалів зарядки, $U_{\text{ВП}}$ – різниця потенціалів викликаной поляризації;

б) у випадку апроксимації кривої спаду різниці потенціалів викликаной поляризації логарифмічною функцією $U_{\text{ВП}}(t) = a \cdot \ln t + b$

$$\eta(t) = 100 \cdot \frac{U_{\text{ВП}}(t)}{U_3} = 100 \cdot \frac{a \cdot \ln t + b}{U_3}, \quad \%;$$

$$V_{\text{ВП}}(t) = \frac{d\eta}{dt} = 100 \cdot \frac{a}{t \cdot U_3}, \quad \frac{\%}{\text{с}},$$

де a, b – коефіцієнти логарифмічної функції, t – час, U_3 – різниця потенціалів зарядки, $U_{\text{ВП}}$ – різниця потенціалів викликаной поляризації.

3. Виконувалася побудова графіків зміни поляризованості й швидкості поляризації від часу та їх якісний і кількісний аналіз.

4. Встановлювалися кореляційні залежності між параметрами поляризації порід, насичених моделлю пластової води, і вмістом основних петрогенних окислів: SiO_2 , CaO , MgO , $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$. Кореляційні залежності, як і у випадку із сухими зразками, апроксимувалися лінійними функціями типу $V_{\text{ВП}} = a C_{xx} + b$, де C_{xx} – вміст петрогенних окислів у %; a і b – коефіцієнти рівняння.

На кінцевому етапі камеральної обробки всієї сукупності матеріалів петрофізичних досліджень між петроелектричними, фільтраційно-ємнісними та фізико-хімічними параметрами порід встановлюються кореляційні зв'язки з використанням методів парної і множинної кореляції. Кореляційний аналіз виконується з метою обґрунтування часткової заміни фільтраційно-ємнісних та інших фізико-хімічних параметрів порід петроелектричними, що є основою геологічної інтерпретації даних електрометричних методів ГДС [7, 9].

З метою вивчення параметрів викликаной поляризації та можливості їх застосування для аналізу фізичних та фізико-хімічних властивостей порід-колекторів в лабораторії петрофізики за розробленою методикою ви-

конані експериментальні лабораторні електрометричні дослідження колекції зразків Добротвірської, Лудинської та Володимирської площі Волино-Поділля. Площі розташовані у північній частині Львівського палеозойського прогину і є перспективними на наявність вуглеводородоносних порід. Дослідним шляхом визначалися й аналізувалися два параметри викликаной поляризації – поляризованість η і швидкість поляризації $V_{\text{ВП}}$ сухих та насичених моделлю пластової води (розчин NaCl) пісковиків, вапняків і доломітів. Зупинимося на аналізі встановлених кореляційних зв'язків вмісту основних породотвірних окислів цих порід із швидкістю поляризації $V_{\text{ВП}}$. Цей параметр рідко використовується при лабораторних петроелектричних дослідженнях, але, як виявилося, є інформативним стосовно можливості прогнозування фізико-хімічних властивостей порід.

У результаті інтерпретації комплексних петрофізичних даних та їх статистичного аналізу встановлені кореляційні зв'язки між швидкістю поляризації сухих і насичених порід та вмістом таких основних породотвірних окислів: SiO_2 , CaO , MgO , $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$. Вміст відмічених окислів у зразках визначався за результатами хімічного й флуоресцентного аналізів. У результаті встановлено, що кореляційні залежності достатньо якісно апроксимуються лінійною функцією типу $V_{\text{ВП}} = a C_{xx} + b$, де C_{xx} – вміст відповідних окислів у відсотках. Для прикладу на рис. 5 наведені кореляційні залежності для вапняків Добротвірської площі. Встановлено, що швидкість поляризації $V_{\text{ВП}}$ як сухих, так і насичених вапняків має пряму функціональну залежність від вмісту SiO_2 , CaO та $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$, а від вмісту MgO – обернену. Коефіцієнти кореляції R^2 цих залежностей достатньо високі і змінюються від 0,78 до 0,95. Характерною особливістю встановлених залежностей є те, що в насичених зразках швидкість поляризації найменш на порядок вища, ніж у сухих зразках, а вміст окислів – більш суттєво впливає на її зміну. Відтак, встановлені кореляційні залежності можуть бути використані для попередньої оцінки вмісту вказаних окислів у вапняках Добротвірської площі за результатами лабораторних вимірів поляризованості та швидкості поляризації.

Цікавий результат отриманий для доломітів Володимирської площі. Загальний кореляційний зв'язок швидкості поляризації з вмістом окислів аналогічний вапнякам Добротвірської площі, але тут $V_{\text{ВП}}$ у сухих зразках приблизно вдвоє вища, ніж у насичених зразках. Остання закономірність характерна для доломітів і пісковиків Лудинської площі, але тут є свої особливості, а саме: для суми окислів $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{H}_2\text{O})$ у доломітах швидкість поляризації має обернену залежність на відміну від вапняків Добротвірської площі; крім цього, для пісковиків залежність $V_{\text{ВП}}$ від вмісту SiO_2 також обернена, а від вмісту MgO – пряма (рис. 6).

Цікавий результат отриманий і при лабораторних дослідженнях вапняків Володимирської площі. Для одержаних кореляційних залежностей характерним є те, що рівень значень швидкості поляризації як для сухих, так і насичених моделлю пластової води зразків практично однаковий, а кореляційні залежності досить близькі. Окрім того у вапняках цієї площі спостерігається обернена залежність $V_{\text{ВП}}$ від вмісту CaO (рис. 7) на відміну від порід Добротвірської та Лудинської площ, де ці залежності прямі.

Отже, результати лабораторних вимірів швидкості поляризації гірських порід у постійному електричному полі свідчать про наявність відмінностей цього параметра навіть у породах однакового класу, що дає можливість використання цієї інформативної характеристики процесу поляризації для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід, вирішення задач класифікації порід та створення комплексних петроелектричних моделей у межах перспективних на вуглеводні площі.

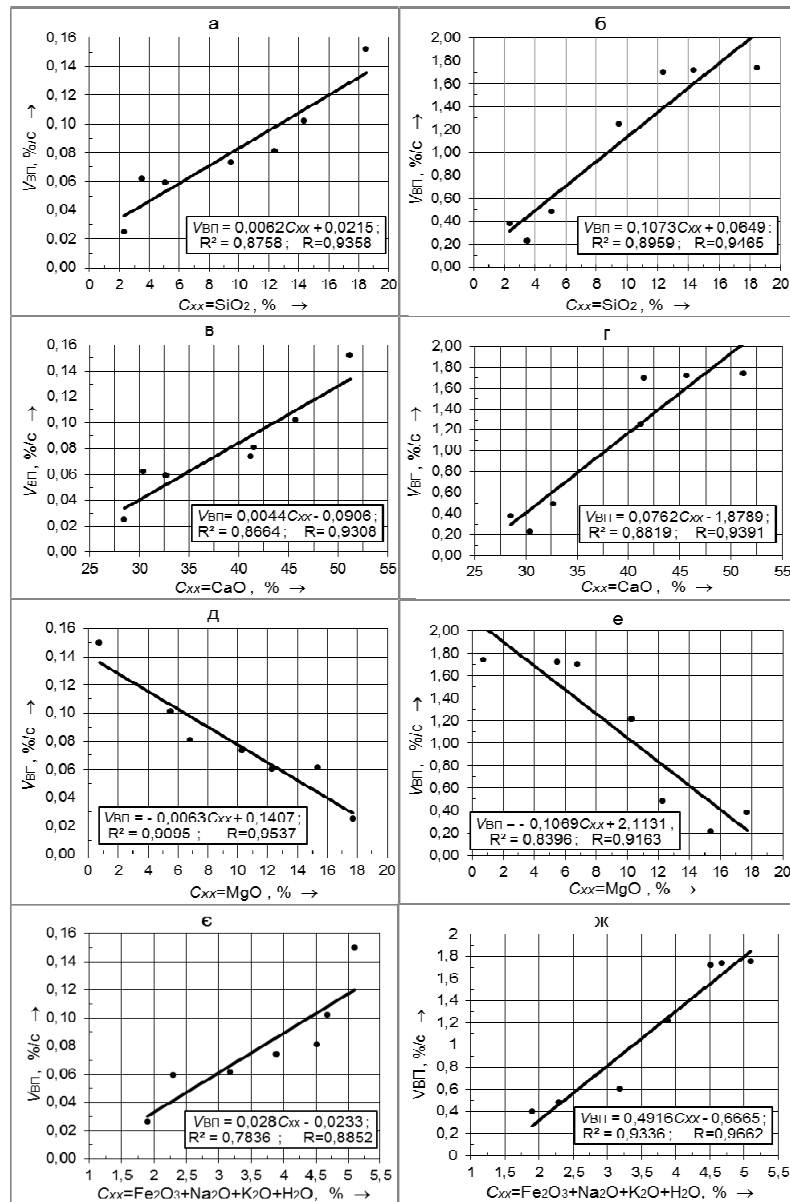


Рис. 5. Кореляційні залежності швидкості поляризації $V_{лп}$ сухих (а, в, д, з) та насичених (б, г, ж) вапняків Добровірської площі від вмісту SiO_2 (а, б), CaO (в, г), MgO (д, е), $\Sigma(Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O + H_2O)$ (з, ж)

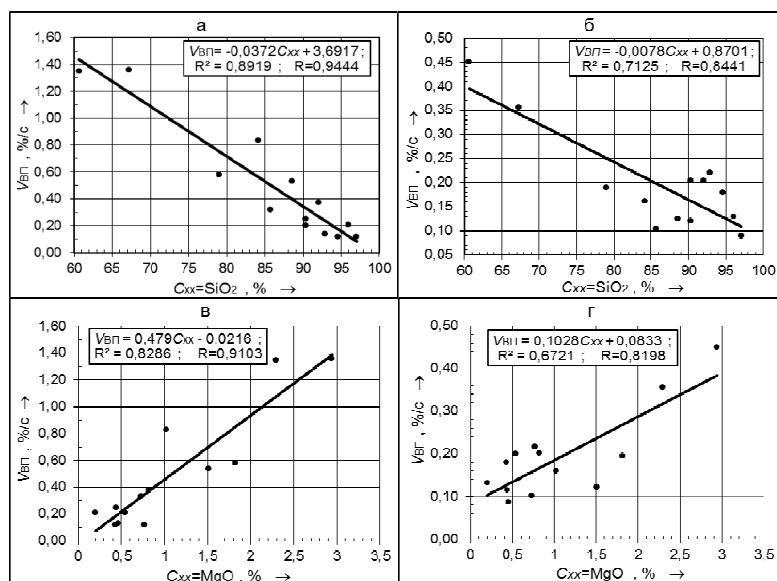


Рис.6. Кореляційні залежності швидкості поляризації $V_{лп}$ сухих (а, в) та насичених (б, г) пісковиків Лудинської площі від вмісту SiO_2 (а, б) й MgO (в, г)

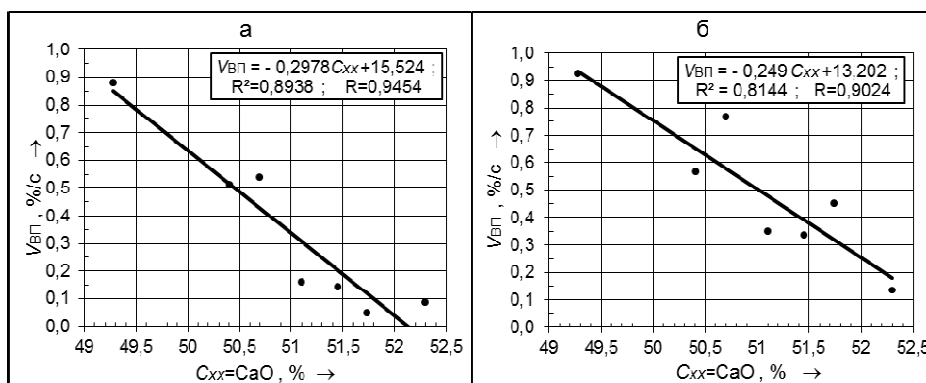


Рис.7. Кореляційні залежності швидкості поляризації V_{bp} сухих (а) та насичених (б) вапняків Володимирської площі від вмісту CaO

Висновки. У результаті дослідних лабораторних робіт удосконалена й застосована нестандартна методика лабораторних досліджень для визначення електричних властивостей гірських порід. Розроблена технологія лабораторних досліджень часових змін петроелектричних параметрів екстрагованих та насичених моделлю пластової води зразків гірських порід на постійному струмі за допомогою цифрових тераомметра С.А. 6547 та мультиметра UT-70В. Запропонована оригінальна схема обробки цифрових записів змін з часом електричного опору екстрагованих зразків та різниці потенціалів порід, насичених моделлю пластової води, шляхом функціонального згладжування. Показана висока інформативність параметра швидкості поляризації для аналізу фізико-хімічних властивостей гірських порід, вирішення задач класифікації порід та створення комплексних петроелектричних моделей у межах перспективних на вуглеводні площі.

Список використаних джерел

1. Жуков Н. Н. Вероятностно-статистические методы анализа геолого-геофизической информации / Н. Н. Жуков. — К.: Вища школа, 1975. — 303 с.
2. Жуков М. Н. Математична статистика та обробка геологічних даних: підручник. / М. Н. Жуков. — К.: ВПЦ "Київський університет", 2008. — 518 с.
3. Кобранова В. Н. Петрофизика: учебник. / В. Н. Кобранова. — М.: Недра, 1986. — 392 с.
4. Комаров В. В. Временные характеристики вызванной поляризации / В. А. Комаров // Методика и техника разведки, 1965. — № 45. — С. 18-23.
5. Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации / В. А. Комаров. — Л.: Недра, 1980 — 391 с.
6. Кормильцев В. В. О возбуждении и спаде вызванной поляризации в капиллярной среде / В. В. Кормильцев // Изв. АН СССР. Сер. Геофизическая. — 1963. — №11. — с. 1658-1666.
7. Кормильцев В. В. Переходные процессы при вызванной поляризации / В. В. Кормильцев. — М.: Недра, 1980. — 112 с.
8. Кормильцев В. В. Электрокинетические явления в пористых горных породах / В. В. Кормильцев. — Екатеринбург, 1995. — 48 с.
9. Курганский В. М. Электричні та електромагнітні методи дослідження свердловин / В. М. Курганський, І. В. Тішаєв. — К.: ВПЦ "Київський університет", 2011. — 175 с.
10. Математичні методи в нафтогазовій геології / О. Є. Лозинський, В. О. Лозинський, Б. Й. Маєвський В. В. та інш. — Ів.-Фр.: Факел, 2008. — 276 с.
11. Нечаева Г. П. Результаты изучения временных характеристик вызванной поляризации / Г. П. Нечаева // Вестник МГУ. Геология. — 1966. — №5. — С. 6-9.
12. Онищук Д. И. Комплексные петроэлектрические модели доломитов девона и песчаников кембрия Лудинской площади Вольно-Подолья / Д. И. Онищук, В. С. Портнов, Н. В. Рева, В. И. Онищук // Труды Карагандинского университета. — 2013. — № 4 (53). — С. 47-51.
13. Постельников А. Ф. К вопросу о природе вызванной поляризации в осадочных горных породах / Ф. А. Постельников // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1959. — № 2. — с. 126-136.
14. Сергатыук А. К. Викликана поляризація викопного вугілля / А. К. Сергатыук // Изд-во АН УССР, 1963. — 125 с.
15. Сергатыук А. К. Про залежність між викликаними потенціалами і якісним складом вугілля / А. К. Сергатыук // ДАН УРСР. — 1967. — № 2. — С. 26-31.
16. Титов К. В. Временные характеристики вызванной поляризации в водонасыщенных песках: теория и эксперименты / К. В. Титов, В. А. Тарасов // Геология и геофизика. — 2001. — т. 42. — № 6. — с. 988-995.

References

1. Zhukov N. N. (1975). Veroyatnostno-statisticheskie metody analiza geologo-geofizicheskoy informatsiyi. Kyev: Vyscha shkola. Izd-vo pri Kiev. un-te, 303 p. [in Russian].
2. Zhukov M. N. (2008). Matematychna statystyka ta obrobka geologichnykh danykh: pidruchnyk. Kyiv: VPCT "Kyivskyi universytet", 518 p. [in Ukrainian].
3. Kobranova V. N. (1986). Petrofizika. Uchebnik. Moscow: Nedra, 392 p. [in Russian].
4. Komarov V. A. (1965). Vremennye kharakteristiki vyzvannoy pol-yaryzatsiyi. Metodika i tekhnika razvedki, 45, 18-23. [in Russian].
5. Komarov V. A. (1980). Elektrorazvedka metodom vyzvannoy pol-yaryzatsiyi. Moscow: Nedra, 391 p. [in Russian].
6. Kormyltsev V. V. (1963). O vzbuzhdeniyi i spade vyzvannoy pol-yaryzatsiyi v kapillyarnoy srede. Izv. AN SSSR. Ser. Geofizicheskaya, 11, 1658-1666. [in Russian].
7. Kormyltsev V. V. (1980). Perekhodnye protsessy pri vyzvannoy pol-yaryzatsiyi. Moscow: Nedra, 112 p.
8. Kormyltsev V. V. (1995). Elektrokineticheskie yavleniya v poristyykh gornyykh porodakh. Ekaterinburg, 48 p. [in Russian].
9. Kurganskyy V. N., Tishaev I. V. (2011). Elektrichni ta elektromagnitni metody doslidzhennya sverdlavyn. Kyiv: VPTS "Kyivskyi universytet", 175 p. [in Ukrainian].
10. Lozynskyy O. E., Lozynskyy V. O., Maevskyy B. Y., Gladun V. V., Chepil P. M. (2008). Matematychni metody v naftogazoviyi geologii. Iv.-Fr.: Fakel, 276 p. [in Ukrainian].
11. Nechaeva G. P. (1966). Rezultaty izucheniya vremennykh kharakteristik vyzvannoy polaryzatsiyi. Vestnik MGU. Geologiya, 5, 6-9. [in Russian].
12. Onischuk D. I., Portnov V. S., Reva N. V., Onischuk V. I. (2013). Kompleksnye petroelektricheskiye modeli dolomitov devona i peschanikov kembriya Ludinskoy ploschady Volyno-Podoliyi. Trudy Karagandinskogo universiteta, 4(53), 47-51. [in Russian].
13. Postelnikov A. F. (1959). K voprosu o prirode vyzvannoy polaryzatsiyi v osadochnyykh gornyykh porodakh. Izv. vuzov. Geologiya i razvedka, 2, 126-136. [in Russian].
14. Sergatyuk A. K. (1963). Vykykana polaryzatsiya vykopnogo vugillya. Izd-vo AN USSR, 125 p. [in Ukrainian].
15. Sergatyuk A. K. (1967). Pro zalezhnist mizh vykykanymy potentsialamy i yakysnym skladom vugillya. DAN URSR, 2, 26-31. [in Ukrainian].
16. Tytov K. V., Tarasov V. A. (2001). Vremennye kharakteristiki vyzvannoy polaryzatsiyi v vodonasyshennykh peskakh: teoriya i eksperymenty. Geologiya i geofizika, 42, 6, 988-995. [in Russian].

Надійшла до редколегії 13.05.16

S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.

E-mail: vsa@univ.kiev.ua;

V. Onyshchuk, Cand. Sci. (Geol.), Associate professor

E-mail: vitus16@ukr.net;

M. Reva, Cand. Sci. (Phys.-math.), Associate professor

E-mail: mvreva@gmail.com;

I. Onyshchuk, Cand. Sci. (Geol.), Head of Laboratory

E-mail: oivan1@ukr.net

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

TECHNOLOGY OF LABORATORY INVESTIGATIONS OF TEMPORARY CHANGES PYROELECTRIC PARAMETERS OF ROCKS

The article discusses the features of methods of petroelectrical investigations in rocks used at the laboratory of theoretical and applied geophysics of ESI "Institute of Geology", Taras Shevchenko National University of Kyiv. The authors have also presented the results of experimental investigations of the electrical resistance fluctuations of extracted rock samples in time as well as the induced polarization potentials (IP) of rock samples saturated by solution. As a result of pilot laboratory works improved non-standard method of laboratory tests has applied to determine electrical properties of rocks. The technology of laboratory researches of fluctuations of petroelectrical parameters at direct current in time of rock samples extracted and saturated by model of reservoir water is developed with using digital megohmmeter C.A. 6547 and multimeter UT-70B. To assess the possibility in using the recorded non-stationary processes at determination of the physical and chemical properties of rocks novel methods of processing and analysis of results of laboratory digital records of temporal fluctuations of the electrical resistance of dry rock samples and induced polarization potentials of rock samples saturated by solution is developed. The developed method is based on usage of two parameters of polarization – polarizability and polarization rate. Polarization rate is the derivative of polarizability. It characterizes the rate of changes of the polarizability in time (unit of measurement – percentage / a second). The polarization rate is a petroelectrical parameter rarely used in laboratory petrophysical researches before. According to the results of laboratory measurements, the polarization rate has more stable correlation with physical and chemical properties of rocks than their polarizability. Thus, the polarization rate in combination with polarizability could be used to build complex petroelectrical models.

Keywords: rock, petrophysical researches, physical properties, electrical resistance, polarizability, polarization rate, petroelectrical parameter.

С. Выхва, д-р геол. наук, проф.

E-mail: vsa@univ.kiev.ua;

В. Онищук, канд. геол. наук, ассист.

E-mail: vitus16@ukr.net;

Н. Рева, канд. физ.-мат. наук, доц.

E-mail: mvreva@gmail.com;

И. Онищук, канд. геол. наук, ст. науч. сотр., зав. НДЛ

E-mail: oivan1@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская 90, г. Киев, 03022, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ ПОРОД

В статье рассматриваются особенности методики петроэлектрических исследований горных пород, используемой в лаборатории петрофизики УНИ "Институт геологии" Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Приведены и проанализированы результаты выполненных экспериментальных исследований изменений во времени электрического сопротивления экстрагированных образцов горных пород и потенциалов вызванной поляризации (ВП) образцов пород, насыщенных раствором. В результате исследовательских работ усовершенствована и применена нестандартная методика лабораторных определений электрических свойств горных пород. Разработана технология лабораторных исследований на постоянном токе временных изменений петроэлектрических параметров экстрагированных и насыщенных моделью пластовой воды образцов горных пород с использованием цифровых тераомметра C.A. 6547 и мультиметра UT-70B и выполнены экспериментальные измерения по разработанной технологии. С целью выяснения возможности использования регистрируемых нестационарных процессов для определения физико-химических свойств горных пород разработана оригинальная методика обработки и анализа результатов лабораторных цифровых записей временных изменений электрического сопротивления сухих и потенциалов ВП насыщенных раствором образцов горных пород. Разработанная методика основана на использовании двух параметров поляризации – поляризуемости (η) и "скорости поляризации" ($V_{ВП}$), которая представляет собой производную от поляризуемости и характеризует скорость изменения поляризуемости во времени. Скорость поляризации является петроэлектрическим параметром, который раньше практически не использовался при лабораторных петрофизических исследованиях. Анализ результатов выполненных лабораторных измерений показал, что этот параметр имеет более устойчивые корреляционные связи с физико-химическими свойствами пород, чем поляризуемость, а поэтому в комплексе с поляризуемостью может использоваться для построения комплексных петроэлектрических моделей.

Ключевые слова: порода, петрофизические исследования, петроэлектрический параметр, физические свойства, электрическое сопротивление, поляризуемость, скорость поляризации.