

УДК 550.83

С. Шепель, д-р геол. наук, Л. Рибак, в.о. зав. лаб., Н. Кондратьєва, пров. геолог, В. Рябуха, асп.

ПРИРОДА АНОМАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ДЕЯКИХ КОЛЕКТОРІВ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

На основі лабораторних вимірювань питомого електричного опору деяких сухих і повітряно-сухих осадових порід ДДЗ встановлена фізична природа їх аномально високої електропровідності. Досліджено характер електричної диференційованості пісковиків, алевролітів, аргілітів у різних діапазонах частот електромагнітного поля.

On fundamentals laboratory specifics of electrical prospecting some dry and airdry sedimentary rocks DD depression was determined physics nature of their anomaly high electrical conductivity. Character sandstones, siltstones, argillites was researched in different frequency range of electromagnetic field.

Вступ. Дослідження нетрадиційних колекторів вуглеводнів набуває особливої актуальності у зв'язку з необхідністю розширення видобутку вуглеводнів в Україні, де відбувається виснаження відомих родовищ. Значний приріст видобутку вуглеводнів в останні роки досягається за рахунок переінтерпретації геолого-геофізичних матеріалів на цих родовищах. До таких нетрадиційних колекторів належать, у тому числі, і низькоомні теригенні відклади складнопобудованих геологічних тіл. Колектори такого типу виділяються на багатьох родовищах світу, з ними пов'язані значні поклади вуглеводнів, але в багатьох випадках вони пропускаються у зв'язку з тим, що їх електричний опір збігається з аналогічним параметром водонасичених пластів.

При дослідженні низькоомних колекторів особливої інтерес викликає визначення фізичної природи їх аномальної електропровідності, що необхідно для повноцінної інтерпретації та переінтерпретації результатів електричного каротажу свердловин. Розв'язанню цієї проблеми на прикладі деяких колекторів Дніпровсько-Донецької западини і присвячена дана робота. У гірських породах аномальна електропровідність може бути обумовлена або електронною провідністю рудної компоненти, сульфідних мінералів, графітової складової або іонною електропровідністю високомінералізованих флюїдів.

Вивчення питання. Дослідженню фізико-хімічної природи та геологічних причин низькоомності колекторів різного типу присвячена відносно невелика кількість опублікованих робіт. У публікації [1] низькоомність колекторів пов'язується з утворенням великої кількості тонкодисперсних вторинних сульфідних мінералів та окислів заліза з електронною провідністю.

О. Гуньовська [2] на прикладі ДДЗ виділяє чотири типи низькоомних продуктивних колекторів, підвищення електропровідності яких вона пов'язує із вмістом у їх складовій електропровідних мінералів. До першого типу віднесено продуктивні, переважно гідрофільні, пласти з аномально низьким питомим електричним опором, які складені піщано-алевролітовими шаруватими породами поліміктового складу. По нашаруванню розсіяні пірити у вигляді тонких прожилок, півок, дрібних взаємопов'язаних вкраплень в асоціації з вуглефікованою органікою. До другого типу низькоомних колекторів віднесено продуктивні пласти, які складені олеофільними піщаними породами, переважно кварцового складу, різної структури. Пірит виповнює окремі пори, утворює агрегати, тонкодисперсні стягнення та плівки на стінках пор, що асоціюють з бітумом. До третього типу належать гідрофільні морські й алювіальні фації із вторинним поровим простором. Деякі електропровідні мінерали, головним чином окисли заліза, розсіяні по всій масі порід. У шаруватих літотипах вони розподілені по нашаруванню. У поліміктових крупнозернистих різновидах порід понижені опори пластів іноді обумовлені підвищеним вмістом залишкової води. До четвертого типу віднесено низькоомні продуктивні пласти, представлені дрібнозернистими пісковиками і крупнозернистими але-

вролітами кварцового складу, що характеризуються підвищеною пористістю.

У роботі [3] виділяються шість можливих причин прояву низькоомності продуктивних колекторів (шаруватість колекторів, електронна провідність, дрібнозернистість структури, внутрішня мікропористість скелету, поверхнева мікропористість та гідрогеологічна інверсія).

Серед вивчених нами публікацій найбільший науковий інтерес викликає робота О. Гуньовської [2], що відрізняється своєю обґрунтованістю та детальністю. Аналіз фізичної природи виділених нею чотирьох типів продуктивних пластів дав можливість зробити висновок, що для перших двох типів основний вклад у зниження електроопору вносить електронна провідність сухої матриці, для третього – комбінований вплив електронної провідності низькоомних мінералів та іонних флюїдів, для четвертого – іонна електропровідність високомінералізованих розчинів.

Об'єкт і суть досліджень. Об'єктом дослідження були обрані осадові відклади нижнього карбону, які складають Південно-Берестейську й Південно-Панасівську площі.

Ці площі розташовані в межах північної прибережної зони північно-західної частини Дніпровсько-Донецької западини, між Роменською та Синівською депресіями. Глибина залягання фундаменту тут становить 5,5–6,0 км. На фундаменті з великим кутовим і стратиграфічним неузгодженням залягає комплекс осадових порід від девонських до четвертинних включно. Досліджені породи Південно-Берестейської площі відібрані в інтервалі 4023–4480 м з кам'яновугільного комплексу (візе) і представлені пісковиками, вапняками й алевролітами. У межах Південно-Панасівської площі з інтервалу 2718–3552 м відібрані пісковики, алевроліти та аргіліти (серпухи-візе). За даними електричного каротажу їх електричний опір змінюється в межах 6–20 Ом·м. В осадовому комплексі виділяються три гідрогеодинамічні зони: активної, ускладненої та дуже ускладненої водообміну. Водоносні горизонти приурочені до пісковиків, алевролітів, кам'яної солі. При випробуванні кам'яновугільних водоносних горизонтів на цих площах одержано приток води хлоркальцієвого типу з високою мінералізацією 122,4–277,3 г/л. Глибина залягання водоносних горизонтів карбону становить 2350–4420 м.

Для розділення впливу електронної та іонної електропровідностей нами були виконані вимірювання питомого електричного опору (ρ) сухих і повітряно-сухих колекторів (у т. ч. і низькоомних) Південно-Берестейської та Південно-Панасівської площ. Отримані лабораторні результати порівнювалися з польовими матеріалами електричного каротажу свердловин. Дослідження сухих колекторів дозволяє позбутися впливу електропровідності флюїдів на електричний опір досліджуваних зразків і фіксувати тільки пониження ρ , обумовлене низькоомними мінералами сухої матриці.

Для порід Південно-Берестівської та Південно-Панасівської площ виконано вимірювання питомого електричного опору на постійному (ρ_z) і змінному струмі часто-

тою 1 кГц ($\rho_{\sim}$). Середні та екстремальні значення питомого електричного опору сухих, повітряно-сухих і насичених пластовою водою порід представлено в табл. 1.

Таблиця 1. Отриманні значення питомого електричного опору на постійному (ρ_z) і на змінному ($\rho_{\sim}$) струмі сухих, повітряно-сухих та насичених пластовою водою порід Південно-Берестівської і Південно-Панасівської площ

Назва порід	К-сть зразків	ρ_z (мін.) (Ом*м)	ρ_z (макс.) (Ом*м)	ρ_z (сер.) (Ом*м)	$\rho_{\sim}$ (мін.) (Ом*м)	$\rho_{\sim}$ (макс.) (Ом*м)	$\rho_{\sim}$ (сер.) (Ом*м)
Суші (Південно-Берестівська площа)							
Пісковики	16	$3,55 \cdot 10^5$	$2,32 \cdot 10^{10}$	$6,33 \cdot 10^9$	$2,33 \cdot 10^5$	$5,24 \cdot 10^7$	$2,88 \cdot 10^7$
Вапняки	4	$3,53 \cdot 10^5$	$1,60 \cdot 10^8$	$5,27 \cdot 10^7$	$1,27 \cdot 10^5$	$1,13 \cdot 10^6$	$5,21 \cdot 10^5$
Алевроліти	3	$8,20 \cdot 10^3$	$1,87 \cdot 10^9$	$6,23 \cdot 10^8$	$6,60 \cdot 10^3$	$2,13 \cdot 10^7$	$7,11 \cdot 10^6$
Повітряно-суші (Південно-Берестівська площа)							
Пісковики	16	$1,96 \cdot 10^3$	$1,06 \cdot 10^7$	$1,90 \cdot 10^6$	$2,38 \cdot 10^3$	$3,01 \cdot 10^5$	$5,12 \cdot 10^5$
Вапняки	4	$2,12 \cdot 10^4$	$1,01 \cdot 10^5$	$5,15 \cdot 10^4$	$1,49 \cdot 10^4$	$4,71 \cdot 10^4$	$2,49 \cdot 10^4$
Алевроліти	3	$4,10 \cdot 10^2$	$5,52 \cdot 10^4$	$1,90 \cdot 10^4$	$2,94 \cdot 10^2$	$4,83 \cdot 10^4$	$1,63 \cdot 10^4$
Насичені пластовою водою (Південно-Берестівська площа)							
Пісковики	16	-	-	-	0,70	6,59	2,42
Вапняки	4	-	-	-	21,0	98,5	44,3
Суші (Південно-Панасівська площа)							
Пісковики	10	$7,54 \cdot 10^5$	$1,97 \cdot 10^{10}$	$5,52 \cdot 10^9$	$2,23 \cdot 10^5$	$5,24 \cdot 10^7$	$2,64 \cdot 10^7$
Алевроліти	5	$3,67 \cdot 10^5$	$1,37 \cdot 10^8$	$3,03 \cdot 10^7$	$2,61 \cdot 10^5$	$1,34 \cdot 10^6$	$3,69 \cdot 10^5$
Аргіліти	7	$5,60 \cdot 10^3$	$1,47 \cdot 10^7$	$2,70 \cdot 10^6$	$4,93 \cdot 10^3$	$5,43 \cdot 10^5$	$1,49 \cdot 10^5$
Повітряно-суші (Південно-Панасівська площа)							
Пісковики	10	$1,85 \cdot 10^4$	$1,97 \cdot 10^7$	$7,39 \cdot 10^6$	$1,90 \cdot 10^4$	$3,79 \cdot 10^7$	$1,40 \cdot 10^7$
Алевроліти	5	$1,95 \cdot 10^2$	$2,72 \cdot 10^4$	$1,08 \cdot 10^4$	$4,54 \cdot 10^2$	$2,14 \cdot 10^4$	$1,30 \cdot 10^4$
Аргіліти	7	$1,39 \cdot 10^3$	$1,17 \cdot 10^4$	$6,02 \cdot 10^3$	$1,20 \cdot 10^3$	$1,04 \cdot 10^4$	$5,15 \cdot 10^3$
Насичені пластовою водою (Південно-Панасівська площа)							
Пісковики	10	-	-	-	0,40	8,15	2,79
Аргіліти	7	-	-	-	1,8	58,0	21,7

Незважаючи на малу кількість досліджених вапняків і алевролітів Південно-Берестівської площі досить чітко виражається загальна тенденція електричної диференціації. Серед сухих зразків найбільш високоомними з мінімальною діелектричною проникністю є пісковики, що обумовлено присутністю в їх складі значної кількості такого високоомного мінералу як кварц, питомий електричний опір якого в сухому стані перевищує 10^{14} Ом*м. Середнє значення електроопору сухих пісковиків на постійному струмі становить $6,33 \cdot 10^9$ Ом*м, а на змінному струмі – $2,88 \cdot 10^7$ Ом*м. Мінімальними ρ характеризуються сухі вапняки, для яких ρ_z (сер.) = $5,27 \cdot 10^7$, а $\rho_{\sim}$ (сер.) = $5,21 \cdot 10^5$ Ом*м. Таким чином, диференціація за середніми значеннями питомого електричного опору на постійному струмі становить 2,1 порядки, а на змінному – лише 1,7 порядки.

Найбільшим діапазоном змін ρ описуються сухі алевроліти Південно-Берестівської площі. Їх електричний опір знаходиться в межах п'яти порядків від $8,2 \cdot 10^3$ до

$1,87 \cdot 10^9$ Ом*м. Це обумовлене тим, що у зразках 12736 та 12736,1 присутні сульфідні мінерали, які характеризуються електронною провідністю й відповідно мінімальними значеннями ρ . Питомий електричний опір таких мінералів дорівнює $10^{-5} - 10^{-1}$ Ом*м. Сульфідні мінерали в цих породах містяться у вигляді окремих ізольованих зерен великих розмірів (до 0,5 см). Такі структурні особливості будови цих порід обумовлюють те, що не утворюється нескінченний електропровідний кластер і поріг перколяції не пройдений. Електричний опір найбільш низькоомних алевролітів із сульфідними мінералами залишається досить значним і складає тисячі омметрів.

Гістограми електричного опору, виміряного на постійному та змінному (1 кГц) струмах сухих пісковиків Південно-Берестівської площі представлено на рис. 1, 2.

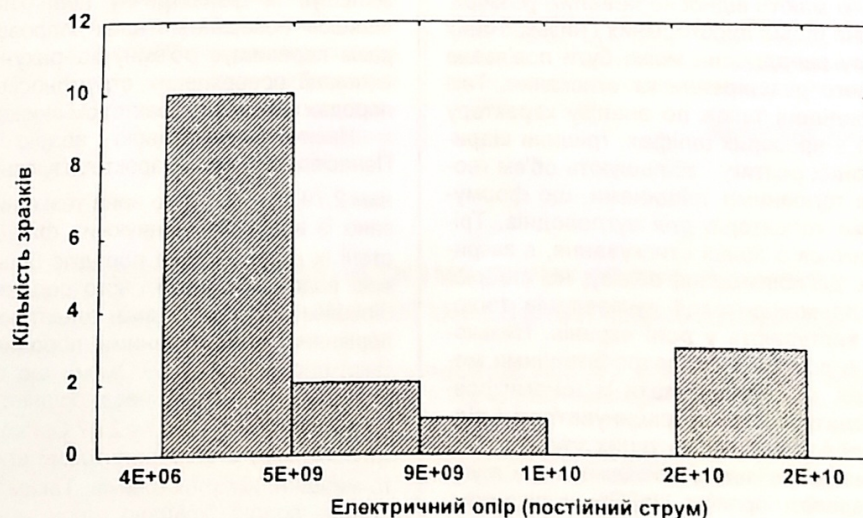


Рис. 1. Гістограма електричного опору (змінний струм, 1 кГц) сухих пісковиків Південно-Берестівської площі

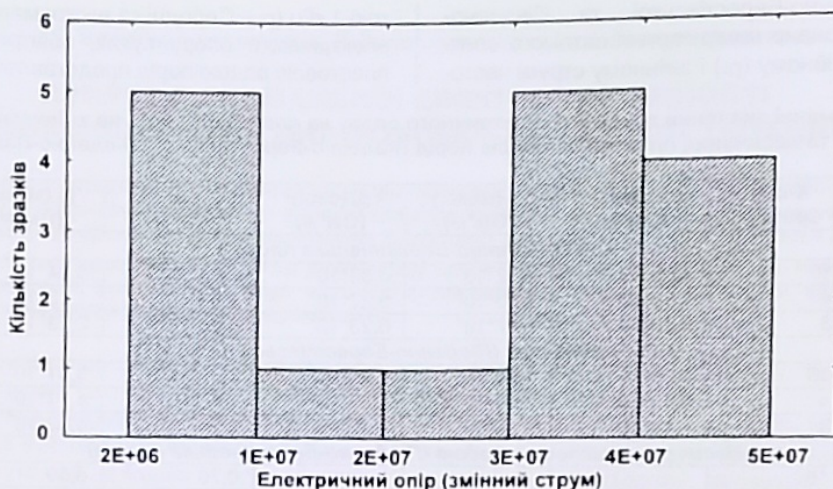


Рис. 2. Гістограма електричного опору (постійний струм) сухих пісковиків Південно-Берестівської площі

Як видно з цих гістограм, більш інтенсивна електрична диференційованість цих утворень спостерігається при вимірюваннях на постійному струмі. Для сухих пісковиків на постійному струмі різниця між максимальними та мінімальними значеннями ρ становить майже чотири порядки, а на змінному – близько 1,3 порядки. Для повітряно-сухих пісковиків ці величини становлять 4 та 3,5 порядки. Таким чином, електричний опір на постійному струмі є більш інформативним петроелектричним параметром порівняно з ρ на змінному струмі.

Насичення порід водою, навіть таке незначне, як перехід від сухих до повітряно-сухих зразків (вологість їх становить 0,01–0,5 вагових %) зменшує питомий електричний опір на 2–4 порядки, причому більш інтенсивно для порівняно високоомних порід, зменшуючи ступінь їх електричної диференційованості.

Середнє значення електричного опору насичених пластовою водою пісковиків Південно-Берестівської площі дорівнює 2,42 Ом·м (див. табл. 1), тобто вони потрапляють до групи низькоомних колекторів як за даним параметром, так і за екстремальними величинами. Отже природа високої електропровідності низькоомних колекторів у межах Південно-Берестівської площі може бути сформована лише іонною електропровідністю високомінералізованих флюїдів, які насичують тріщини та пори порід. Необхідно підкреслити, що цей вплив може проявлятися як на мікрорівні (зразки порід), так і на макрорівні, що не обов'язково проявиться у зразках, які мають відносно невеликі розміри. Чергування порівняно більш високоомних і низькоомних горизонтів по розрізу свердловин може бути пов'язане із зонами тектонічного розширення та стискання. Такі зони можуть бути виділені також по аналізу характеру мікротріщинуватості в прозорих шліфах: тріщини відриву утворюються в зонах розтягу і збільшують об'єм геологічних тіл. Вони є головними тріщинами, що формують додаткові об'єми колекторів для вуглеводнів. Тріщини сколу утворюються в зонах стискання, є закритими і не приводять до збільшення об'єму, не створюють нові порожнини для концентрації вуглеводнів. Досить часто вони виступають у ролі екранів. Низькоомні зони, виявлені в досліджених петрофізичними методами свердловинах, можна пов'язати із зонами розтягу утворенням додаткової мікротріщинуватості і відповідно більш високої водонасиченості цих зон.

Для Південно-Панасівської площі досліджено три групи порід: пісковики, алевроліти, аргіліти. Найбільш високоомними в сухому стані є пісковики. У сухому стані середнє значення їх електричного опору на постійному струмі на 2,3 порядки перевищує аналогічний параметр алевролітів і на

2,8 порядки – аргілітів. На змінному струмі ці величини становлять відповідно 0,9 і 2,1 порядки, що значно менше, ніж при постійному струмі. Зменшення питомого опору в ряду пісковики – алевроліти – аргіліти спостерігається також і для повітряно-сухих зразків (ігроскопічна вологість їх становить 0,02–0,56 вагових %). У цьому випадку ρ пісковиків перевищує аналогічний параметр алевролітів на 4,6 порядки, аргілітів – на 4,9 порядки (постійний струм) і відповідно на 3 і 3,5 порядки (змінний струм). Таким чином підтверджується встановлена на прикладі порід Південно-Берестівської площі закономірність: збільшення частоти електромагнітного поля значно погіршує інформативність такого петроелектричного критерію, як питомий електричний опір.

Гістограми електричного опору сухих пісковиків Південно-Панасівської площі представлені на рис. 3, 4. Аналіз цих гістограм дає можливість також зробити висновок про більшу інформативність електричного опору, вимірюваного на постійному струмі, порівняно з ρ на змінному струмі.

Таким чином, для сухих і повітряно-сухих порід Південно-Панасівської площі досить чітко простежується ряд, де зменшується питомий електричний опір сухих та повітряно-сухих зразків: пісковики – алевроліти – аргіліти. У цьому ряді порід найбільш дрібнозернистими є аргіліти. У їх складі, як правило, 50 % – мінерали з розміром зерна, меншим за 0,001 мм.

Отже, зменшення розмірів породотворювальних частинок зменшує електричний опір матриці осадових порід і збільшує їх діелектричну проникність. Це пов'язано із впливом поверхневої електропровідності, що в декілька разів перевищує об'ємну за рахунок зменшення енергії активації поверхневих струмоносців і у дрібнозернистих породах є суттєвим фактором зниження питомого опору.

Насичені пластовою водою пісковики Південно-Панасівської площі характеризуються електроопором рівним 2,79 Ом·м, тобто вони теж є низькоомними (це пов'язано із впливом насичуючих флюїдів, оскільки в сухому стані їх ρ на декілька порядків більше). Насичені пластовою водою пісковики цього родовища характеризуються більшим діапазоном змін електроопору (0,40–8,15 Ом·м) порівняно з аналогічними породами Південно-Берестівської площі (0,70–6,59 Ом·м), що свідчить про їх більшу структурно-текстурну неоднорідність. Аргіліти є порівняно високоомними [$\rho(\text{сер.}) = 21,7 \text{ Ом}\cdot\text{м}$], хоча в сухому й повітряно-сухому станах їх питомий електричний опір набагато менший, ніж ρ пісковиків. Таким чином, насичення пластовою водою більшою мірою впливає на електричний опір пісковиків, порівняно з аргілітами, що фіксує меншу тектонічну подрібненість останніх.

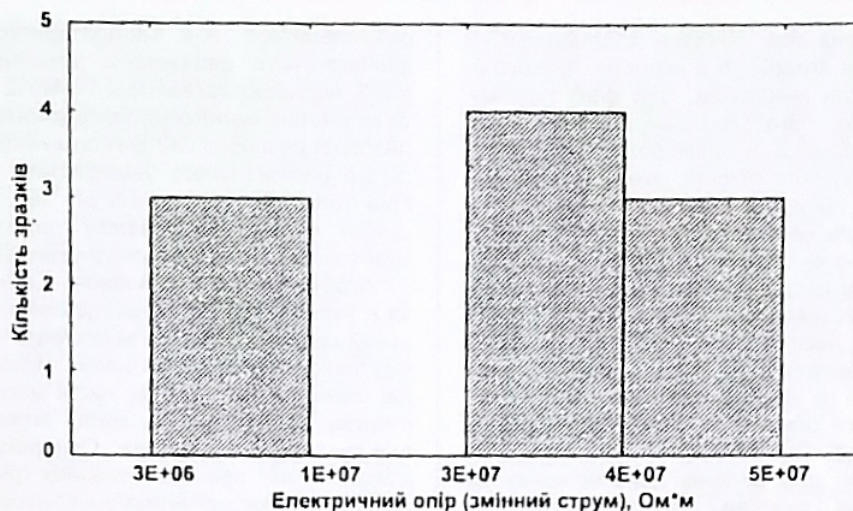


Рис. 3. Гістограма електричного опору (змінний струм, 1 кГц) сухих пісковиків Південно-Панасівської площі

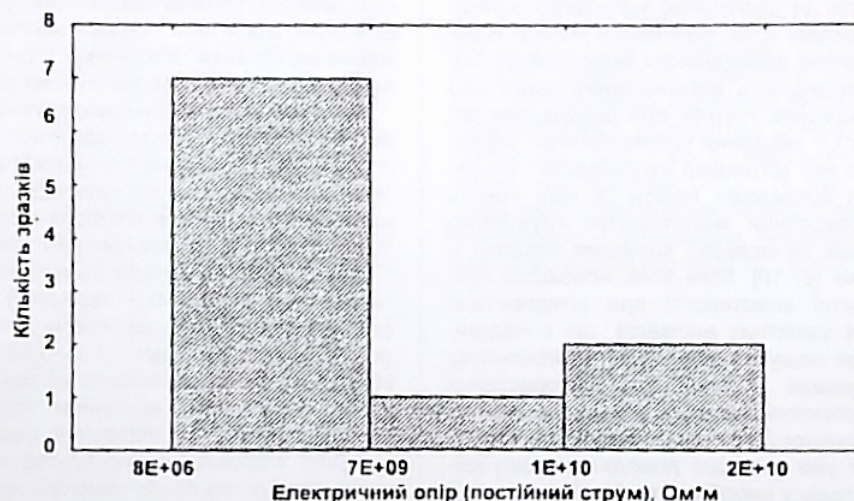


Рис. 4. Гістограма електричного опору (постійний струм) сухих пісковиків Південно-Панасівської площі

Висновки. Запропонована методика визначення фізичної природи низькоомності продуктивних горизонтів полягає у вимірюванні в лабораторних умовах питомого електричного опору сухих та повітряно-сухих зразків, що дає можливість нівелювати вплив водної компоненти та досліджувати електрофізичні характеристики твердого скелету матриці. Усі досліджені нами породи Південно-Берестівської та Південно-Панасівської площі, які відібрані в зонах аномально низьких значень електричного опору (згідно з даними електричного каротажу) за результатами вимірювань, отриманими авторами в лабораторних умовах на сухих і повітряно-сухих пробах, показали досить високі значення ρ . Це свідчить

про те, що природа їхньої аномально високої електропровідності може бути пов'язана лише із впливом флюїдних розчинів високої мінералізації.

1. Гуньовська О. М. Нетрадиційні колектори нафти і газу — резерв для нагромадження енергетичних ресурсів України // Нафта і газ України. Матер. XVII Міжнар. наук.-практ. конф. — К., 2002. 2. Гуньовська О. М., Лизун С. О., Чепіль П. М. Низькоомні колектори нафти і газу, умови їх утворення, критерії виділення та характер розповсюдження у розрізах карбону Дніпровсько-Донецької западини // Нафта і газ України. Матер. XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. "Нафта і газ України-2004". Судак, 29 верес. — 1 жовт. 2004 р. — Судак, 2004. — Т. 1. 3. Worthington P. F. Recognition and evaluation of low-resistivity pay // Petroleum Geoscience — 2000. — V. 6, № 1.

Надійшла до редколегії 12.09.06

УДК 550.83-1029.12

О. Меньшов, асп.

ЗАСТОСУВАННЯ МАГНЕТИЗМУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ЗАВДАНЬ

Розглянуто можливості застосування магнетизму ґрунтового покриття для розв'язання задач пошуків вуглеводнів, при екогеофізичних та урбогеофізичних дослідженнях, у аграрному секторі. Наведено розподіли досліджених магнітних параметрів у ґрунтах України.

The possibility of using the soil magnetism for hydrocarbons prospecting, ecogeophysics and urbogeophysics investigations, in agriculture is considered. The distributions of the investigated magnetic parameters in Ukraine soils are described.

Вступ. Ґрунтовий покрив є однією з основних ланок, які формують комплекс сфер і ресурсів для існування людства на планеті Земля. Ще В. І. Вернадський за-

уважив, що ґрунт зберігає Землю від руйнування. Більше того, нафта, газ і вугілля можуть бути замінені атомною енергією, а ґрунт замінити нічим. Останнім

© О. Меньшов, 2007