



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103841** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
G01V 5/00
G01V 5/14 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2012 08338	(72) Винахідник(и): Кулик Володимир Васильович (UA), Бондаренко Максим Сергійович (UA), Камілова Оксана Володимирівна (UA)
(22) Дата подання заявки:	07.07.2012	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ГЕОФІЗИКИ ІМ. С.І. СУББОТІНА НАН УКРАЇНИ, пр. Палладіна, 32, м. Київ-142, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	25.11.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 66364 U; 26.12.2011 UA 90301 C2; 26.04.2010 RU2330311 C1; 27.07.2008 US 6936812 B2; 30.08.2005 US 4122339; 24.10.1978 DE 2756328 A1; 26.10.1978 ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Госкомитет СССР по делам строительства. М.: 1984, 13 с.
(41) Публікація відомостей про заяву:	10.12.2012, Бюл.№ 23	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.11.2013, Бюл.№ 22	

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ ГУСТИНИ СКЕЛЕТА ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ

(57) Реферат:

Винахід належить до геофізичних свердловинних досліджень гірських порід. За способом визначення мінеральної густини скелета гірської породи визначають загальну густину гірської породи, об'ємну вологість породи та коефіцієнт її пористості. Згідно з винаходом, мінеральну густину скелета гірської породи визначають вздовж свердловинного розрізу за допомогою комплексу радіоактивного каротажу. При цьому загальну густину гірської породи в свердловинному розрізі визначають за допомогою гамма-гамма каротажу, а об'ємну вологість породи і коефіцієнт її пористості, які в зоні повного водонасичення співпадають, визначають за допомогою комплексу нейтрон-нейтронного і гамма-каротажу. В зоні неповного водонасичення об'ємну вологість породи визначають за допомогою комплексу нейтрон-нейтронного, гамма-гамма і гамма-каротажу, а пористість породи визначають незалежним лабораторним або іншим шляхом. За отриманими таким чином даними розраховують мінеральну густину скелета гірської породи за відповідною формулою. Спосіб забезпечує підвищення достовірності та точності визначень мінеральної густини скелета гірської породи на основі комплексної узгодженості сукупності петрофізичних параметрів, підвищення загальної продуктивності і оперативності робіт та зменшення їх вартості.

UA 103841 C2

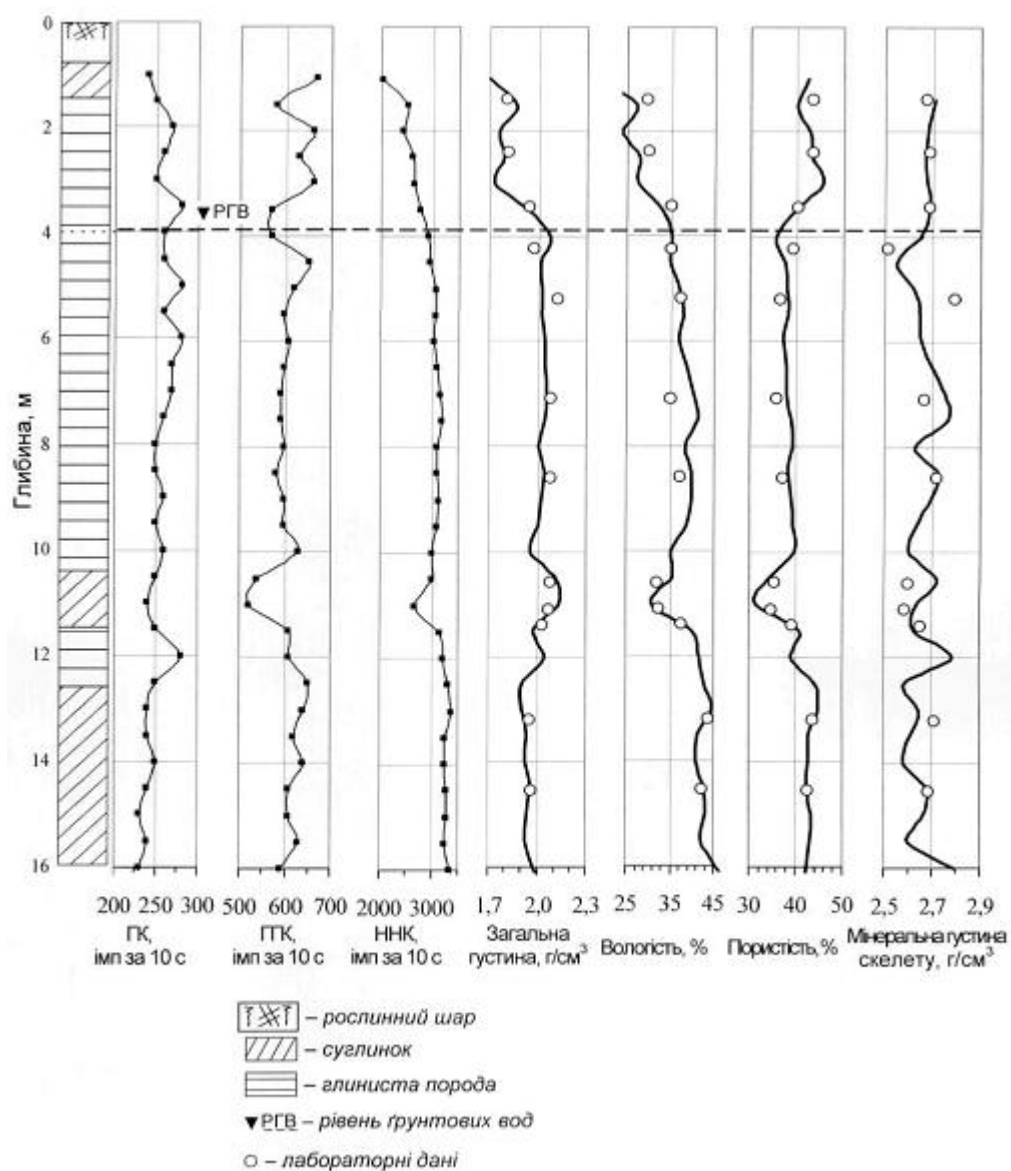


Fig. 1

Винахід належить до області геофізичних свердловинних досліджень гірських порід і призначений для визначення мінеральної густини скелета породи вздовж свердловинного розрізу за допомогою комплексу радіоактивного каротажу (РК): гамма-гамма каротажу (ГГК), нейтрон-нейтронного каротажу (ННК) і гамма-каротажу (ГК).

5 Гірська порода в цілому складається з твердого мінерального скелета і пор (пустот), які заповнені флюїдами. Відносний об'єм пор кількісно характеризується коефіцієнтом пористості k_p (відношення об'єму пор до об'єму породи), а відносний об'єм мінерального скелета дорівнює, відповідно, $(1-k_p)$.

10 Об'єктом досліджень є водогазонасичені гірські породи відносно неглибокого залягання (до глибин порядку 1 км), що характерно для інженерно-геологічних, метано-вугільних, сланцево-газових, гідрогеологічних, рудних свердловин. Мінеральний скелет породи в загальному випадку є сукупністю мінералів різного об'ємного вмісту (наприклад, теригенні породи складаються переважно із кварцу і глинистих мінералів). Пори гірських порід повністю або частково заповнені водою (з різним коефіцієнтом водонасиченості) і газом (повітря, метан, їх суміш). На розглядуваних глибинах густина газу значно менша густини води, тому в задачі визначення мінеральної густини скелету густиною газу можна знехтувати.

Мінеральна густина скелета (густина твердої фази, густина твердих частинок) є важливим петрофізичним параметром, що характеризує літологічні та мінеральні властивості породи, а також вміст в ній окремих елементів (наприклад, заліза у складі відповідних мінералів).

20 В лабораторних умовах мінеральну густину скелета визначають пікнометричним способом, безпосередньо вимірюючи за допомогою пікнометра об'єм і масу подрібнених частинок висушеної породи [1, 2]. Недоліком цього способу є зміна об'єму твердих частинок (при використанні дистильованої води як робочої рідини) у випадку, коли породи мають в своєму складі глини, що набухають (наприклад, монтморилоніт), або водорозчинні мінерали (галіт, кальцит тощо).

Іншим способом визначення мінеральної густини скелета породи, який ми використовуємо як прототип, є розрахунковий [1]. У відповідності з цим способом мінеральну густину скелета можна отримати на основі попередньо виконаних лабораторних визначень таких петрофізичних параметрів, як густина, вологість і пористість зразка породи.

30 Для повністю або частково водонасиченої породи зв'язок між вказаними петрофізичними параметрами виражається формулою, яку згідно [3] можна представити у вигляді:

$$\rho_s = \frac{\rho - \rho_w W_V}{1 - k_p}, \quad (1)$$

де ρ_s , г/см³ - мінеральна густина скелета гірської породи;

ρ , г/см³ - загальна густина породи;

ρ_w , г/см³ - густина води, що повністю або частково насичує пори;

35 W_V , долі одиниці (д. о.) - об'ємна вологість породи (відношення об'єму води в порах до об'єму пор);

k_p , (д. о.) - коефіцієнт загальної пористості.

У випадку повного водонасичення коефіцієнт загальної пористості і об'ємна вологість співпадають: $k_p = W_V$

40 Визначення мінеральної густини скелета за даними лабораторних вимірювань має наступні загальні недоліки [2].

1. Масовий відбір зразків породи, їх підготовка до проведення визначень петрофізичних параметрів вимагає значних зусиль, часу, коштів.

45 2. Отримання достатньо представницького набору зразків, їх зберігання і дослідження в стані, максимально наближеному до природного залягання, для ряду порід (наприклад, незцементованих, глинистих, тріщинуватих) наштовхується на істотні труднощі.

3. Зі збільшенням глибини падає повнота відбору керну, зростає локальність, випадковість взяття проб вздовж досліджуваного розрізу, а також неоперативність і значна вартість проведення робіт, у зв'язку з чим часто не виконуються навіть мінімальні планові норми відбору керну.

50 В основу винаходу поставлено задачу підвищення загальної продуктивності і оперативності робіт, зменшення їх вартості, збільшення достовірності та точності визначення мінеральної густини скелета гірських порід в свердловинному розрізі на основі отриманої за допомогою комплексу РК сукупності петрофізичних параметрів з використанням апріорних даних, а також реалізація можливості отримання кількісної оцінки шуканого параметра у випадку відсутності

або недостовірності лабораторних визначень, при цьому визначити мінеральну густину скелета через загальну густину породи, її об'ємну вологість та загальну пористість шляхом використання даних гамма-гамма каротажу (ГГК), нейтрон-нейтронного каротажу (ННК) та гамма-каротажу (ГК).

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення мінеральної густини скелета гірської породи, за яким визначають загальну густину гірської породи, об'ємну вологість породи та коефіцієнт її пористості і за отриманими даними розраховують мінеральну густину скелета гірської породи, згідно з винаходом, мінеральну густину скелета гірської породи визначають вздовж свердловинного розрізу за допомогою комплексу радіоактивного каротажу, причому загальну густину гірської породи в свердловинному розрізі визначають за допомогою гамма-гамма каротажу, а об'ємну вологість породи і коефіцієнт її пористості, які в зоні повного водонасичення співпадають, визначають за допомогою комплексу нейтрон-нейтронного і гамма-каротажу, при цьому в зоні неповного водонасичення об'ємну вологість породи визначають за допомогою комплексу нейтрон-нейтронного, гамма-гамма і гамма-каротажу, а пористість породи визначають незалежним лабораторним або іншим шляхом, і за отриманими таким чином даними розраховують мінеральну густину скелета гірської породи за формулою:

$$\rho_s = \frac{\rho - \rho_w W_V}{1 - k_n},$$

де ρ_s - мінеральна густина скелету гірської породи, г/см³;

ρ - загальна густина породи, г/см³;

ρ_w - густина води, що повністю або частково насичує пори, г/см³;

W_V - об'ємна вологість породи (відношення об'єму води в порах до об'єму пор), долі одиниці (д. о.);

k_n - коефіцієнт загальної пористості, д. о.

ГГК полягає в опроміненні породи вздовж свердловинного розрізу високоенергетичними гамма-квантами від радіоізотопного джерела (наприклад, ¹³⁷Cs), реєстрації комптонівських гамма-квантів за вирахуванням вкладу природного випромінювання порід, та визначенням їх загальної густини за градувальною залежністю ГГК.

ННК полягає в опроміненні породи вздовж свердловинного розрізу швидкими нейтронами від джерела нейтронів (наприклад, ²³⁸Pu-Be), реєстрації повільних нейтронів та визначенням позірної вологості за градувальними залежностями ННК.

ГК полягає у реєстрації гамма-квантів природного випромінювання та використанні показань датчика, наприклад, для визначення коефіцієнта глинистості порід за відповідною градувальною залежністю.

Використання вказаного комплексу РК дозволяє через петрофізичні параметри (густину породи, її вологість та пористість), визначення яких є однією з первинних задач РК, отримати інформативний додатковий параметр, яким є мінеральна густина скелета. При цьому в ряді випадків відпадає необхідність лабораторних визначень, а наявні лабораторні дані можуть служити критерієм достовірності каротажних визначень.

Розв'язання поставленої задачі має свої особливості в залежності від повного або часткового водонасичення пор (процедура I або II, відповідно).

I. Пори гірської породи повністю водонасичені.

Для отримання мінеральної густини скелета за даними комплексу РК, у відповідності з формулою (1), виконують наступні дії:

а) за показаннями ГГК, на основі градувальної залежності ГГК, що відповідає свердловинним умовам вимірювань, визначають загальну густину породи ρ ;

б) за показаннями ННК, на основі градувальної залежності ННК, отриманої для повністю водонасиченої породи і заданим свердловинним умовам вимірювань, визначають позірну (нейтронну) вологість W_V^n ;

в) за показаннями ГК, на основі градувальної залежності для подвійного різницевого параметра ГК [3, 4], визначають коефіцієнт глинистості $k_{гн}$;

г) використовуючи отримані параметри W_V^n і $k_{гн}$, визначають об'ємну вологість породи за формулою

$$W_V = W_V^n - \omega_{гн} k_{гн} \quad (2)$$

де $\omega_{гн}$, (д. о.) - водневий індекс глин, який приймається згідно з апіорними даними;

д) використовують той факт, що пористість повністю насиченої водою породи співпадає з її об'ємною вологістю:

$$k_n = W_V \quad (3)$$

е) густину води приймають рівною 1:

$$\rho_W = 1,00 \text{ г/см}^3 \quad (4)$$

е) підставляють визначені значення загальної густини породи ρ (згідно з п. а), вологості W_V (згідно з ф. (2)), пористості k_n (ф. (3)) та апіорне значення густини води ρ_W (ф. (4)) у формулу (1) і отримують шукану величину - мінеральну густину скелета гірської породи ρ_S в зоні повного водонасичення, що відповідає певній глибині вимірювань.

II. Пори гірської породи заповнені газом (повітрям, метаном або їх сумішшю) і водою з різним коефіцієнтом водонасиченості.

Для отримання мінеральної густини скелета у випадку неповного водонасичення, у відповідності з формулою (1), виконують наступні дії:

а) за показаннями ГГК визначають загальну густину породи ρ ;

б) за даними комплексу РК (ННК+ГК+ГГК), у відповідності з процедурою, описаною в патенті [4], отримують значення об'ємної вологості W_V ;

в) використовують апіорне значення коефіцієнта пористості k_n , отримане лабораторним шляхом чи з застосуванням інших способів, а також значення густини води ρ_W ;

г) за формулою (1) визначають шуканий параметр - мінеральну густину скелета гірської породи ρ_S в тій частині свердловинного розрізу, де пори частково заповнені газом (повітря, метан), а частково - водою з різним коефіцієнтом водонасичення.

На фіг. 1 наведено приклад визначення мінеральної густини ρ_S скелета піщано-глинистої породи в розрізі інженерно-геологічної свердловини. Нижче рівня фунтових вод (РГВ) густина ρ_S визначалась згідно з процедурою (I), а в зоні аерації (вище РГВ) - згідно з процедурою (II) з використанням лабораторних вимірювань пористості.

Отримані значення ρ_S лежать в діапазоні $\sim (2,6-2,7) \text{ г/см}^3$ і відповідають значенню мінеральної густини скелету піщано-глинистих ґрунтів. Із фіг. 1 видно, що отримані каротажним способом петрофізичні параметри добре узгоджуються з наявними лабораторними визначеннями.

На фіг. 2 наведено приклад визначення мінеральної густини ρ_S скелета техногенної породи (хвостосховища гірничо-збагачувального комбінату), що містить мінерали заліза магнетит, гематит і пірит. Результати отримано для зони повного водонасичення згідно процедури (I). Вологість визначена за двозондовим нейтрон-нейтронним каротажем (2ННК) з використанням відношення показань двох зондів (спосіб компенсаційного нейтронного каротажу [5]) для нейтралізації впливу поглинання нейтронів, в даному випадку залізом.

Значення ρ_S за приведеними на фіг. 2 каротажними даними лежать в діапазоні підвищеної густини $\sim (3,6-4,5) \text{ г/см}^3$, що відповідає густині залізовмісних мінералів і їх відносному вмісту в породі.

Технічним результатом способу визначення мінеральної густини ρ_S скелета гірських порід на основі каротажних вимірювань є:

- збільшення достовірності та точності визначень на основі комплексної узгодженості сукупності петрофізичних параметрів у досліджуваному інтервалі свердловинного розрізу;
- можливість отримати кількісну оцінку шуканого параметра у випадку відсутності або недостовірності лабораторних визначень ρ_S ;

- підвищення загальної продуктивності і оперативності робіт, зменшення їх вартості порівняно з лабораторними визначеннями.

Джерела інформації:

1. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Госкомитет СССР по делам строительства. М., 1984-13 с. ДСТУ Б В.2.1-17: 2009. Грунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Мінрегбуд України, Київ, 2010-26 с. Н.Н.

2. Гудок Н.С., Богданович Н.Н., Мартынов В.Г. Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород. М.: Недра, 2007-592 с.

3. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (физика горных пород). 2-е изд., перераб. и доп. Изд-во "Нефть и газ". - М.: 2004-368 с.

4. Патент України на корисну модель № 66364. Спосіб визначення вологості піщано-глинистих ґрунтів у зоні аерації на основі нейтрон-нейтронного каротажу. Бондаренко М.С., Кулик В.В. Інститут геофізики НАН України. Бюл. №24, 2011 р.

5. Скважинная ядерная геофизика. Справочник геофизика. Под редакцией О.Л. Кузнецова и А.Л. Поляченко.-2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1990.-318 с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

10 Спосіб визначення мінеральної густини скелета гірської породи, за яким визначають загальну густину гірської породи, об'ємну вологість породи та коефіцієнт її пористості і за отриманими даними розраховують мінеральну густину скелета гірської породи, який **відрізняється** тим, що мінеральну густину скелета гірської породи визначають вздовж свердловинного розрізу за допомогою комплексу радіоактивного каротажу, причому загальну густину гірської породи в свердловинному розрізі визначають за допомогою гамма-гамма каротажу, а об'ємну вологість породи і коефіцієнт її пористості, які в зоні повного водонасичення співпадають, визначають за допомогою комплексу нейтрон-нейтронного і гамма-каротажу, при цьому в зоні неповного водонасичення об'ємну вологість породи визначають за допомогою комплексу нейтрон-нейтронного, гамма-гамма і гамма-каротажу, а пористість породи визначають незалежним лабораторним або іншим шляхом, і за отриманими таким чином даними розраховують

20 мінеральну густину скелета гірської породи за формулою:

$$\rho_s = \frac{\rho - \rho_w W_V}{1 - k_n},$$

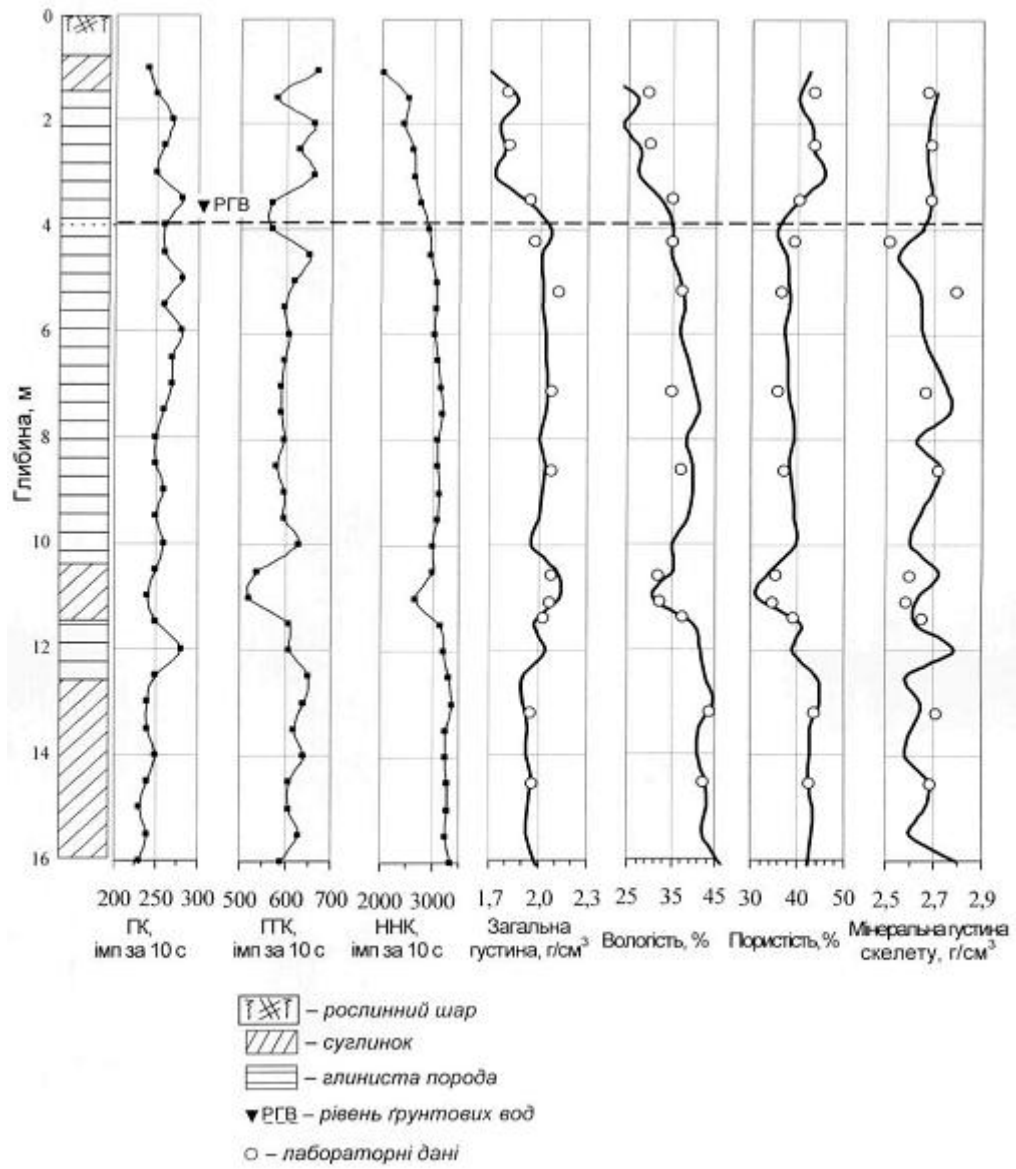
де ρ_s - мінеральна густина скелета гірської породи, г/см³;

ρ - загальна густина породи, г/см³;

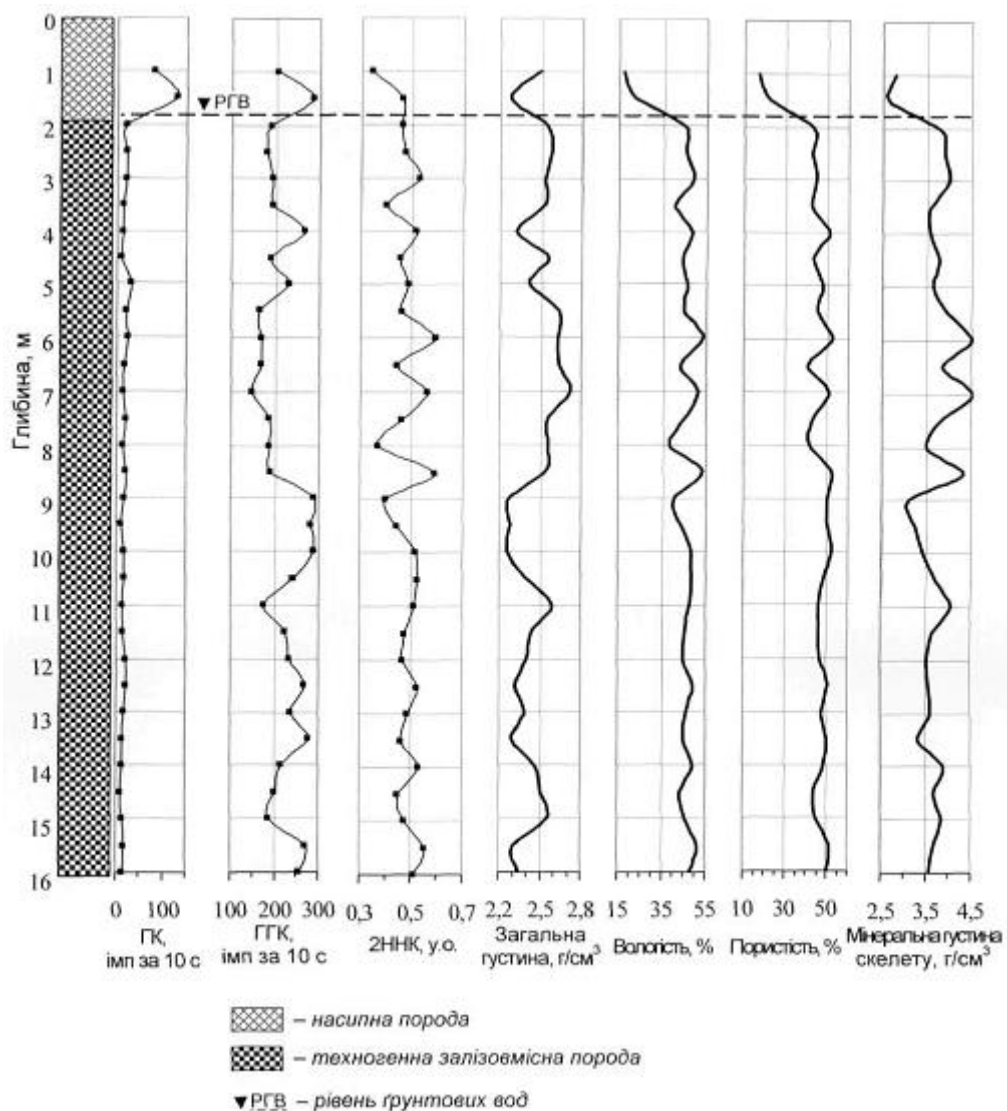
ρ_w - густина води, що повністю або частково насичує пори, г/см³;

25 W_V - об'ємна вологість породи (відношення об'єму води в порах до об'єму пор), долі одиниці (д. о.);

k_n - коефіцієнт загальної пористості, д. о.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601