



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **100911** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
G01V 5/00
G01N 23/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2011 03180	(72) Винахідник(и): Кулик Володимир Васильович (UA), Старостенко Віталій Іванович (UA), Нестеренко Георгій Федорович (UA), Бондаренко Максим Сергійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 18.03.2011	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ГЕОФІЗИКИ ІМ. С.І. СУББОТІНА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, пр. Палладіна, 32, м. Київ-142, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.02.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. ГОСТ 5180-84. Введ. 24.10.1984. - М.: Изд-во стандартов, 1984. US 5053620; 01.10.1991; UA 92545 C2; 10.11.2010; US 5408097; 18.04.1995; UA 74972 C2; 15.02.2006; RU 2025748 C1; 30.12.1994; US 4737636; 12.04.1988; UA 42218 A; 15.10.2001; Кулик В. В. Показания газонаполненных детекторов нейтронов в однородных геологических средах // Геофиз. журн. - 1999. - № 5. - С. 19-28 Козачок И. А., Кулик В. В., Яковлев Ю. В. Простые приближения для расчета потока тепловых нейтронов в геологических средах // Геофиз. журн. - 1984. - № 2. - С. 23-28.
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.06.2012, Бюл.№ 12	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.02.2013, Бюл.№ 3	

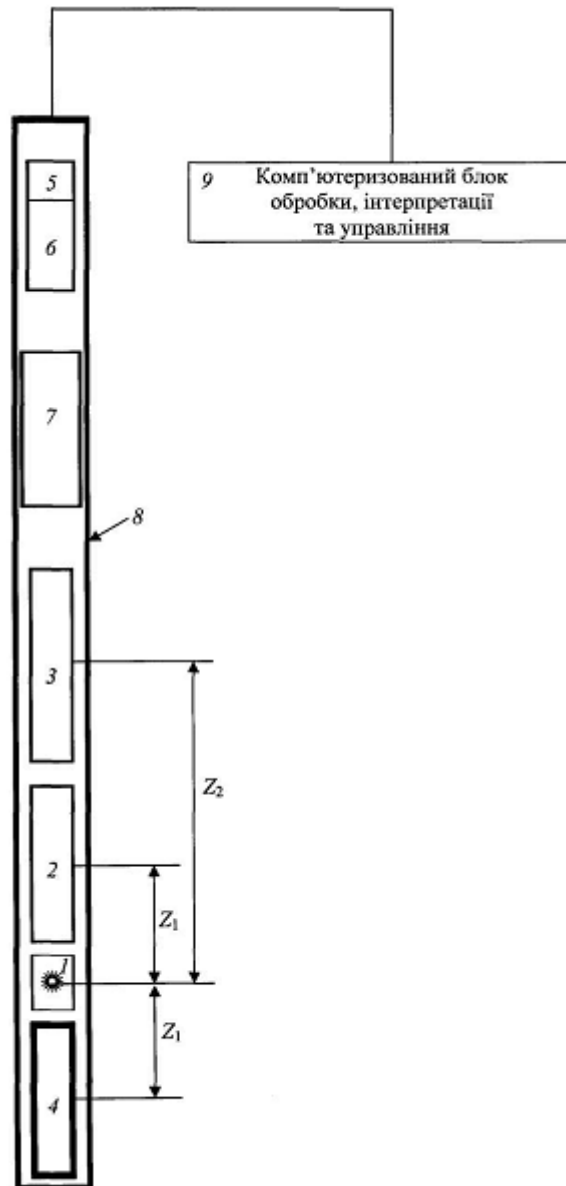
(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННИХ ҐРУНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ РАДІОІЗОТОПНОГО КАРОТАЖУ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі свердловинних геофізичних досліджень приповерхневих природних і техногенних гірських порід (ґрунтів). Спосіб визначення параметрів природних і техногенних ґрунтів за допомогою радіоізотопного каротажу полягає в опроміненні ґрунту швидкими нейтронами та в дискретній реєстрації повільних нейтронів. При цьому повільні нейтрони реєструють на двох зондових відстанях, за допомогою відношення показань двох зондів за повільними нейтронами визначають водневміст. За допомогою реєстрації гамма-квантів природного випромінювання ґрунту отримують коефіцієнт глинистості та кількісно оцінюють вміст хімічно зв'язаної води. За допомогою різниці між водневмістом і вмістом хімічно зв'язаної води визначають вологість. За допомогою реєстрації надтеплових нейтронів зондом, узгодженим з ближнім зондом повільних нейтронів, отримують відношення швидкості лічби

UA 100911 C2

надтеплових нейтронів до різниці між швидкостями лічби повільних і надтеплових нейтронів та використовують вказане відношення для визначення вмісту хімічних елементів - аномальних поглиначів нейтронів. Пристрій для здійснення способу містить два детектори повільних нейтронів, один детектор надтеплових нейтронів і один детектор гамма-квантів. Технічним результатом винаходу є підвищення достовірності і точності визначення вологості ґрунтів та розширення інформативності радіоізотопного каротажу (РК).



Фіг. 7

Винахід належить до області геофізичних досліджень приповерхневих гірських порід (ґрунтів) на основі радіоізотопного каротажу (РК) - нейтронного каротажу (НК) та гамма-каротажу (ГК) - і призначений для одночасного комплексного визначення в обсаджених і необсаджених свердловинах різного діаметру і глибиною до 100 м ряду параметрів природних і техногенних ґрунтів, а саме: водневмісту, глинистості, вмісту хімічно зв'язаної води, вологості, пористості, засоленості, вмісту хімічних елементів - аномальних поглиначів нейтронів (рідкісноземельні елементи, бор, кобальт, титан, марганець, залізо, калій та ін.)

Відомий спосіб визначення інженерно-геологічних та інших параметрів ґрунтів шляхом відбору зразків порід та їх дослідження за допомогою лабораторних установок і приладів [1]. Однак така технологія затратна, малопродуктивна, недостатньо оперативна, не завжди дає задовільну точність визначень параметрів із-за неминучих порушень властивостей порід в процесі відбору зразків та робіт з ними.

Перевагою геофізичних свердловинних методів є можливість *in situ*, без відбору зразків, вивчати фізичний стан порід та отримувати більшість необхідних параметрів. Зокрема, відомі радіоізотопні способи [2] дозволяють визначати ряд важливих параметрів ґрунтів в умовах їх природного залягання з достатньою для практики точністю, з меншою затратою коштів, з більшою продуктивністю, а також розширити область досліджень (складні техногенні утворення, пливуні, мули та ін.)

В нафтогазовій геофізиці для визначення водонасиченої пористості порід-колекторів використовують відношення показань двох зондів НК різної, достатньо великої (заінверсійної), довжини. Це дозволяє значно зменшити похибки шляхом компенсації заважаючих геологічних і технічних факторів (спосіб компенсаційного нейтронного каротажу (КНК)) [2]). Для визначення нейтронопоглинальних властивостей порід розроблено спосіб двоканальної інтегральної нейтронної спектрометрії (спосіб і пристрій ДІНС [3]). Для одночасного визначення пористості і коефіцієнта нафтонасичення розроблено відповідний спосіб та пристрій для його реалізації [4].

Геофізичні дослідження нафтогазових і приповерхневих свердловин принципово відрізняються як за геологічними, так і за технічними умовами. Тому для визначення інженерно-геологічних та інших параметрів ґрунтів потрібно розробити такі підходи, які враховують специфіку приповерхневих свердловинних досліджень, використавши, по можливості, позитивні напрацювання в області нафтогазової ядерної геофізики.

Як прототип даного винаходу вибрано спосіб визначення вологості ґрунтів на основі методу однозондового нейтронного каротажу за повільними нейтронами (НКп), який реалізують за допомогою приладу ВПГР-1 (воломір поверхнево-глибинний радіоізотопний) [5].

Спосіб полягає в опроміненні ґрунту швидкими нейтронами ^{238}Pu -Ве джерела і в реєстрації ^3He -детектором повільних (теплових і надтеплових) нейтронів, які утворилися в результаті взаємодії з атомними ядрами речовини ґрунту, та у визначенні шуканого параметра за градуальною залежністю. Нейтрон-нейтронний метод визначення вологості базується на переважному впливі вмісту водню на процеси сповільнення і дифузії нейтронів. Показання приладу (швидкість лічби нейтронів) тісно пов'язані з об'ємною вологістю, яка обумовлена наявністю в ґрунті вільної (гравітаційної) води, а також присутністю капілярної та фізично зв'язаної води.

У зв'язку з використанням в приповерхневих дослідженнях малопотужних нейтронних джерел (з виходом до $5 \cdot 10^5$ нейтронів в секунду), для досягнення необхідної статистичної точності вимірювання проводять дискретно вздовж свердловинного розрізу з заданим кроком по глибині (здебільшого через 0,5 м) за прийнятної експозиції по часу (до 30 с). При цьому використовують доінверсійну відстань між джерелом і детектором, тобто вибирають якомога меншу довжину зонда. На таких зондах залежність показань приладу від вологості можна апроксимувати прямою лінією з позитивним кутовим коефіцієнтом (показання ростуть зі збільшенням вологості). Зокрема, прилад ВПГР-1 має «нульову» довжину зонда - джерело нейтронів розміщене на середині циліндричного ^3He -лічильника повільних нейтронів СНМ-17 [5].

Основними недоліками однозондового способу НКп при визначенні вологості піщано-глинистих ґрунтів, а також пристрою для реалізації цього способу (прилад ВПГР-1), є наступні.

1. Неврахування вмісту хімічно зв'язаної води, яка входить до складу глинистих мінералів. Ця систематична похибка призводить до завищення вологості; величина похибки залежить від коефіцієнта глинистості та від конкретних глинистих мінералів, які входять до складу глинистого матеріалу, і може бути значною (до 10 % абс. і більше).

2. Неконтрольована систематична похибка, спричинена наявністю аномальних поглиначів теплових нейтронів в досліджуваних породах, яка може призводити до істотного заниження вологості, особливо в малоглинистих ґрунтах.

3. Відсутність можливості оцінки нейтронопоглинальної здатності ґрунтів, пов'язаної з вмістом аномальних поглиначів, при розв'язанні задач одночасного визначення вологості і засоленості ґрунтів, оцінки вмісту ряду корисних компонентів у техногенних породах та ін.

4. Наявність лише одного каналу реєстрації імпульсів (один зонд) у приладі ВПГР-1 не дозволяє з достатньою точністю визначати вологість широко розповсюджених піщано-глинистих ґрунтів, які містять глинисті мінерали (тобто хімічно зв'язану воду) і хімічні елементи - аномальні поглиначі теплових нейтронів, що знаходяться в твердій фазі ґрунту чи у флюїді.

Це означає, що однозондовий спосіб НКп та відповідний йому одноканальний вологомір ВПГР-1 для реальних ґрунтів може дати лише грубу оцінку величини об'ємної вологості і фактично не дозволяє оцінити похибку визначення цієї величини із-за неконтрольованості вмісту глини та аномальних поглиначів нейтронів.

Задачею винаходу є підвищення достовірності і точності визначення вологості ґрунтів та розширення інформативності радіоізотопного каротажу (РК) - отримання за один спуско-підйом приладу РК низки параметрів (водневмісту, коефіцієнта глинистості, вмісту хімічно зв'язаної води, вологості, засоленості, пористості, вмісту хімічних елементів - аномальних поглиначів нейтронів).

Це досягається тим, що:

(А). Для визначення вологості: 1) використовують відношення показань двох зондів за повільними нейтронами, яке практично не залежить від вмісту аномальних поглиначів, і отримують значення водневмісту (нейтронну вологість); 2) за допомогою гамма-каротажу визначають глинистість і, відповідно, позірну вологість, пов'язану з наявністю хімічно зв'язаної води в глинистих мінералах; 3) отримують шукану об'ємну вологість як різницю між водневмістом і позірною вологістю глинистих мінералів.

(Б). Для визначення солоності води та вмісту хімічних елементів - аномальних поглиначів теплових нейтронів (чи мінералів або з'єднань, що містять такі поглиначі): 1) реєструють надтеплові нейтрони на зонді, узгодженому з ближнім (відносно джерела нейтронів) зондом повільних нейтронів; 2) отримують різницю між швидкостями лічби повільних і надтеплових нейтронів; 3) використовують відношення швидкості лічби надтеплових нейтронів до вказаної різниці для визначення вмісту елементів з аномальною нейтронопоглинальною здатністю.

Для реалізації запропонованого способу відповідний пристрій РК споряджений 2-ма детекторами повільних нейтронів, 1-м детектором надтеплових нейтронів і 1-м детектором гамма-квантів, що разом складає 4 канали реєстрації. Зондова частина пристрою РК (свердловинного приладу) містить: ближній (доінверсійний) зонд повільних нейтронів НКп1 (1-й канал), дальній зонд повільних нейтронів НКп2 (2-й канал), зонд надтеплових нейтронів, узгоджений з ближнім зондом повільних нейтронів НКнт1 (3-й канал), блок детектування гамма-квантів природного випромінювання досліджуваних порід (4-й канал - канал ГК).

Запропоновані спосіб та пристрій мають наступне теоретичне і експериментальне обґрунтування. Розглянемо його на прикладі широко розповсюджених на території України піщано-глинистих ґрунтів.

Швидкість лічби повільних нейтронів, що реєструється ^3He -детекторами ближнього (БЗ) і дальнього (ДЗ) зондів, складається із двох компонентів - теплового і надтеплого [6]:

$$I_{n1}(\Lambda_s, \Sigma_a, Z_1) = I_{t1}(\Lambda_s, \Sigma_a, Z_1) + I_{nt1}(\Lambda_s, Z_1), \quad (1)$$

$$I_{n2}(\Lambda_s, \Sigma_a, Z_2) = I_{t2}(\Lambda_s, \Sigma_a, Z_2) + I_{nt2}(\Lambda_s, Z_2), \quad (2)$$

де I_{n1} , с^{-1} - швидкість лічби повільних нейтронів на 1-му каналі (кількість імпульсів в одиницю часу - показання детектора БЗ);

I_{t1} , с^{-1} - тепловий компонент показань детектора БЗ;

I_{nt1} , с^{-1} - надтепловий компонент показань детектора БЗ;

I_{n2} , с^{-1} - швидкість лічби повільних нейтронів на 2-му каналі (показання детектора ДЗ);

I_{t2} , с^{-1} - тепловий компонент показань детектора ДЗ;

I_{nt2} , с^{-1} - надтепловий компонент показань детектора ДЗ;

$\Lambda_s \equiv \Lambda_s(W_v, S_r, k_{gl})$ - комбінація нейтронних параметрів, яка визначає просторовий розподіл надтеплових і теплових нейтронів в піщано-глинистих ґрунтах;

W_v , д. о. (частки одиниці) - об'ємна вологість ґрунту;

S_r , д. о. - коефіцієнт водонасиченості ґрунту;

k_{gl} , д. о. - коефіцієнт глинистості;

Σ_a , см^{-1} - параметр поглинання: макроскопічний переріз поглинання теплових нейтронів, який характеризує нейтронопоглинальну здатність ґрунту;

Z_1 , см - довжина ближнього зонда (БЗ) (відстань між центром джерела нейтронів і серединою активного об'єму ближнього ^3He -детектора);

5 Z_2 , см - довжина дальнього зонда (ДЗ);

Відмітимо, що в зоні аерації $S_r < 1$; нижче рівня ґрунтових вод в зоні повного водонасичення $S_r = 1$, $W_v = n$, де n - пористість ґрунту.

Просторовий розподіл теплового і надтеплового компонентів показань ^3He -детектора (швидкості лічби теплових і надтеплових нейтронів), згідно з теорією (див. [6, 7]), можна
10 представити в наступному наближеному вигляді:

$$I_T(\Lambda_s, \Sigma_a, Z_1) \approx Q_0 \frac{S_{\text{det}}}{4} C_{\text{th}} \frac{k_s}{\Sigma_a} f(\beta, Z) \varphi_{\text{epi}}(\Lambda_s, Z), \quad (3)$$

$$I_{\text{HT}}(\Lambda_s, Z) \approx Q_0 \frac{S_{\text{det}}}{4} C_{\text{epi}} \varphi_{\text{epi}}(\Lambda_s, Z). \quad (4)$$

Тут Q_0 , с^{-1} - потужність джерела нейтронів

S_{det} , см^2 - площа поверхні детектора;

15 C_{th} - безрозмірний параметр, зв'язаний з ефективністю детектора в області спектра енергій теплових нейтронів

C_{epi} - безрозмірний параметр, зв'язаний з ефективністю детектора в області спектра енергій надтеплових нейтронів

k_s , см^{-1} - нейтроносповільнювальна здатність ґрунту;

20 $f(\beta, Z)$ - безрозмірна функція нейтронних параметрів і довжини зонда Z .

β_n - набір нейтронних параметрів, який визначається вибраною теоретичною моделлю.

$\varphi_{\text{epi}}(\Lambda_s, Z)$, см^{-2} - потік надтеплових нейтронів.

Відмітимо, що надтепловий компонент показань (4) не залежить від поглинання нейтронів, тоді як у тепловий компонент (3) параметр поглинання Σ_a входить в явному вигляді.

25 При відповідному виборі теоретичних залежностей (див. [7]) для потоку $\varphi_{\text{epi}}(\Lambda_s, Z)$ і функції $f(\beta, Z)$, вирази (3) і (4), з достатньою для практики точністю, справедливі для всіх використовуваних довжин зондів і довільного складу гірської породи. Оскільки функція $f(\beta, Z)$ при малих Z відносно слабо залежить від довжини зонда Z , а на асимптоті не залежить від неї, то в першому наближенні $f(\beta, Z) \approx \text{const}(Z)$.

30 Тоді, для даного складу ґрунту і його вологості та пористості, відношення R показань двох зондів, ближнього до дальнього, стає практично незалежним від параметра поглинання Σ_a :

$$R_T(W_v, S_r, Z_1, Z_2) = R_{\text{HT}}(W_v, S_r, Z_1, Z_2) = R_n(W_v, S_r, Z_1, Z_2) \approx \text{const}(\Sigma_a). \quad (5)$$

Отже, для теплових, надтеплових і повільних нейтронів відношення показань двох зондів практично однакове і не залежить від вмісту аномальних поглиначів; при цьому один із зондів
35 може бути доінверсійним чи навіть «нульовим», а другий заінверсійним чи попадати в зону інверсії.

На практиці перевагу віддають відношенню R_n для повільних нейтронів, оскільки для цього відношення статистичні похибки найменші. Параметр

$$R_n(W_v, S_r, Z_1, Z_2) = I_{n1}/I_{n2} \quad (6)$$

40 має компенсаційний характер, оскільки не тільки практично компенсує такий геологічний фактор, як неконтрольований вміст аномальних поглиначів, а і є незалежним від потужності джерела, нівелює особливості детекторів і неповну ідентичність приладів даного типу, а також вплив свердловинних факторів [2].

Розглянемо вплив вмісту аномальних поглиначів на основні закономірності просторового розподілу показань детектора повільних нейтронів, прийнявши як моделі піщаний ґрунт в зоні водонасичення і в зоні аерації при відсутності глинистого матеріалу ($k_{\text{гл}} = 0$).

На фіг. 1 приведена розрахункова залежність швидкості лічби повільних нейтронів від довжини зонда в піщаному неглинистому ґрунті різної вологості та мінералізації флюїду для зони повного водонасичення ($S_r = 1$).

- 5 Крива 1 - $W_V = 10\%$; $C_{NaCl} = 0$ г/л (суцільна лінія); 50 г/л (пунктир);
 2 - $W_V = 30\%$; $C_{NaCl} = 0$ г/л (суцільна лінія); 50 г/л (пунктир);
 3 - $W_V = 50\%$; $C_{NaCl} = 0$ г/л (суцільна лінія); 50 г/л (пунктир).

10 Інтервал значень Z , де перетинаються криві різної вологості, характеризує зону інверсії показань. Зонди Z , що лежать зліва від зони інверсії, називають доінверсійними, справа - заінверсійними. Конкретні значення зони інверсії залежать від багатьох факторів, зокрема, як видно з фіг. 1, від мінералізації флюїду.

Фіг. 2 демонструє аналогічну залежність для зони аерації ($S_r < 1$) при пористості $n = 40\%$, яка є найбільш характерною для піщано-глинистих ґрунтів.

- 15 Крива 1 - $W_V = 10\%$; $C_{NaCl} = 0$ г/л (суцільна лінія); 50 г/л (пунктир);
 2 - $W_V = 20\%$; $C_{NaCl} = 0$ г/л (суцільна лінія); 50 г/л (пунктир);
 3 - $W_V = 39\%$; $C_{NaCl} = 0$ г/л (суцільна лінія); 50 г/л (пунктир).

На фіг. 3 приведені експериментальні дані для показань приладу з ^3He -детектором CHM-56 в залежності від довжини зонда у прісній та мінералізованій воді.

1 - $C_{NaCl} = 0$ г/л; 2 - $C_{NaCl} = 43$ г/л; 3 - $C_{NaCl} = 176$ г/л.

20 На фіг. 4 показані експериментальні залежності показань ^3He -детектора CHM-16 без аномального поглиначача і в присутності аномального поглиначача - заліза.

Крива 1 - $W_V = 100\%$ (прісна вода); суцільна лінія - без Fe, пунктир - з Fe у вигляді залізної труби.

2 - $W_V = 27\%$, $n = 40\%$; тверда фаза - кварц; суцільна лінія - без Fe, пунктир - з Fe (оцінка).

25 Як видно із фіг. 1-4, просторові залежності при наявності аномальних поглиначів (Cl, Fe) є «паралельними» (у вибраному напівлогарифмічному представленні) до кривих без поглиначів; при цьому для даної вологості W_V «зсув» кривих залежить від вмісту аномального поглиначача.

Отже, для однозондових приладів НК наявність поглиначача призводить до позірною зменшення вологості в залежності від його концентрації. Проте відношення показань на двох зондах, R_n (6), при даному W_V практично не залежить від наявності поглиначів при будь-яких значеннях зондів Z_1 і Z_2 .

Таким чином, відношення R_n для двох зондів, один з яких є доінверсійним, а другий - заінверсійним або попадає в зону інверсії, залежить тільки від вологості ґрунту W_V (в зоні аерації - ще від коефіцієнта водонасичення S_r) і не залежить від вмісту аномальних поглиначів нейтронів.

35 Вологість W_V визначають з градувальних залежностей $R_n(W_V)$, які отримують за допомогою адекватних фізичних моделей, додатково використовуючи обґрунтоване математичне моделювання для випадків, коли фізичні моделі створити утруднено.

В реальних піщано-глинистих ґрунтах показання приладу залежать від загального водневмісту, оскільки водень знаходиться не тільки у воді, а і в глинистих мінералах. Вологість W_V зв'язана з водневмістом наступним співвідношенням:

$$W_V = W_V^{(n)} - \omega_{гг} k_{гг}, \quad (7)$$

де $W_V^{(n)}$ - параметр водневмісту, або нейтронна вологість; $\omega_{гг}$ - водневий індекс глинистих мінералів.

Нейтронна вологість включає як звичайну вологість W_V , так і позірну вологість $\omega_{гг} k_{гг}$,

45 пов'язану з глинистістю; при $k_{гг} = 0$ нейтронна вологість співпадає з вологістю: $W_V^{(n)} = W_V$.

У зв'язку з необхідністю врахування глинистості нейтронний прилад для визначення вологості ґрунтів повинен включати детектор, який реєструє природне гамма-випромінювання ґрунтів. Останнє в більшості випадків тісно пов'язане з глинистістю, яку визначають за допомогою залежності $\Delta I_\gamma(k_{гг})$, де ΔI_γ - подвійний різницеви параметр [2].

50 Таким чином, для визначення вологості ґрунтів за допомогою НК необхідно врахувати хімічно зв'язану воду глинистих та інших мінералів і компенсувати вплив аномальних поглиначів нейтронів.

У ряді випадків для природних і техногенних ґрунтів, наряду з визначенням їх вологості, є необхідність кількісно оцінити вміст аномальних поглиначів, які можуть входити у склад ґрунту у вигляді окремих елементів, хімічних сполук та мінералів.

Зокрема, природні піщано-глинисті ґрунти можуть мати значну засоленість, яка змінює їхні фізико-механічні властивості. Здебільшого ґрунтові солі містять хлор, який є аномальним поглиначем. Крім того, в склад ґрунту може входити невелика кількість рідкісноземельних елементів, які є надзвичайно сильними поглиначами нейтронів. Вміст цих елементів важко визначити хімічним способом у лабораторних умовах, проте вони мають значний вплив на показання детектора повільних нейтронів. У склад глин часто входить бор; ряд аномальних поглиначів у техногенних ґрунтах мають значення як корисний компонент, який можна добути.

Для визначення вмісту аномальних поглиначів, разом з повільними нейтронами узгоджено (при тій же довжині зонда, використовуюваному лічильнику і т. д.) реєструють надтеплові нейтрони. Для отримання швидкості лічби надтеплових нейтронів лічильник повільних нейтронів оточують кадмієм, який поглинає теплові нейтрони, і отримують кадмієву різницю [6]:

$$D_{Cd}(W_V, C) = I_n(W_V, C) - I_{Cd}(W_V), \quad (8)$$

де $I_{Cd}(W_V)$ - швидкість лічби надтеплових (епікадмієвих) нейтронів.

Як інтерпретаційний параметр використовують кадмієве відношення [6],

$$N_{Cd}(W_V, C) = \frac{I_{Cd}(W_V)}{D_{Cd}(W_V, C)} \quad (9)$$

яке при даній вологості лінійно зв'язане з макроскопічним перерізом поглинання Σ_a .

$$N_{Cd}(W_V, C) = a(W_V)\Sigma_a(C) + b \quad (10)$$

Градувальну залежність в загальному випадку, коли шуканий конкретний аномальний поглинач апіорі невідомий, будують у вигляді (10). Параметр Σ_a , в свою чергу, лінійно зв'язаний з концентрацією C аномального поглинача або вмістом відповідної сполуки чи мінералу:

$$\Sigma_a(C) = \alpha C + \beta(W_V) \quad (11),$$

де коефіцієнт α залежить від конкретного поглинача.

На фіг. 5 приведено експериментальні залежності кадмієвого відношення від параметра поглинання Σ_a , отримані з використанням розчинів солі NaCl та борної кислоти H_3BO_3 .

1 - розчини солі та борної кислоти різної концентрації у воді ($W_V = 100\%$);

2 - пісок пористістю $n \approx 40\%$ з вологістю $W_V = 37\%$ (водний розчин солі) та $W_V = 34\%$ (водний розчин борної кислоти).

На фіг. 6 приведені розрахункові залежності для визначення вмісту хлору в водонасиченому ґрунті при різних значеннях вологості

$$1 - W_V = 10\%; 2 - W_V = 35\%; 3 - W_V = 10.$$

Таким чином, визначивши значення W_V , за залежностями (10) і (11) здійснюють кількісну оцінку концентрації аномального поглинача. Можливе також безпосереднє градування кадмієвого відношення (9) в одиницях вмісту поглинача.

Для реалізації способу запропоновано прилад радіоізотопного каротажу, схема якого представлена на фіг. 7.

1 - джерело швидких нейтронів

2 - ближній детектор повільних нейтронів

3 - дальній детектор повільних нейтронів

4 - детектор надтеплових нейтронів

5 і 6 - детектор гамма-квантів

5 - сцинтилятор

6 - фотоелектронний помножувач

7 - блок електроніки

8 - охоронний кожух

9 - комп'ютеризований блок обробки, інтерпретації та управління.

Свердловинний прилад РК для визначення параметрів ґрунтів містить замкнені в охоронний кожух 8 стаціонарне джерело швидких нейтронів 1 (наприклад $^{238}\text{Pu-Be}$); два просторово рознесені детектори повільних нейтронів - ближній 2 і дальній 3, обладнані, наприклад, ^3He -лічильниками типу CHM; детектор надтеплових нейтронів 4 (лічильник типу CHM, оточений

кадмієм товщиною 0,6-0,8 мм); детектор гамма-квантів для реєстрації природного випромінювання ґрунтів, який складено з сцинтилятора 5 (наприклад, кристалу NaI(Tl)) та фотоелектронного помножувача (ФЕП) 6; електронний блок 7.

Показання всіх чотирьох детекторів по 4-х електронних каналах надходять в комп'ютеризований наземний блок 9, в якому виконується обробка даних і їх попередня інтерпретація з можливою оперативною передачею визначених параметрів, а також управління приладом у випадку його обладнання відповідною системою (зупинка приладу для вимірювань через визначений інтервал свердловинного розрізу, задання часу експозиції тощо).

Відмітимо наступні особливості пристрою: 1) детектор 4 обладнаний тим же лічильником, що і ближній детектор повільних нейтронів, і розташований на тій же відстані від джерела; 2) кристал 5 розташований далі від джерела нейтронів порівняно з ФЕП 6 з метою мінімізації впливу гамма-випромінювання від радіаційного захвату теплових нейтронів ядрами породи.

Оскільки в приповерхневих дослідженнях використовуються джерела нейтронів відносно малої потужності, відстань між джерелом 1 і кристалом 5 складає 70-80 см. Загальна довжина приладу не перевищує 1,0-1,2 м (в залежності від довжини лічильників нейтронів).

Технічним результатом винаходу є:

- розширення інформативності радіоізотопного каротажу (РК) при дослідженні приповерхневих обсаджених і необсаджених свердловин різного діаметра і глибиною до 100 м;
- значна кількість визначуваних єдиним приладом РК параметрів природних і техногенних ґрунтів: водневмісту, глинистості, вмісту хімічно зв'язаної води, вологості, пористості, засоленості, вмісту хімічних елементів - аномальних поглиначів нейтронів (рідкісноземельні елементи, бор, кобальт, титан, марганець, залізо, калій та ін.);
- підвищення точності визначення вологості ґрунтів шляхом врахування хімічно зв'язаної води та усунення впливу аномальних поглиначів нейтронів;
- одночасне визначення вологості і мінералізації ґрунтових вод;
- визначення корисних компонентів техногенних ґрунтів;
- оперативність, підвищена продуктивність і відносна дешевизна отримання інженерно-геологічних та інших параметрів ґрунтів;

Джерела інформації:

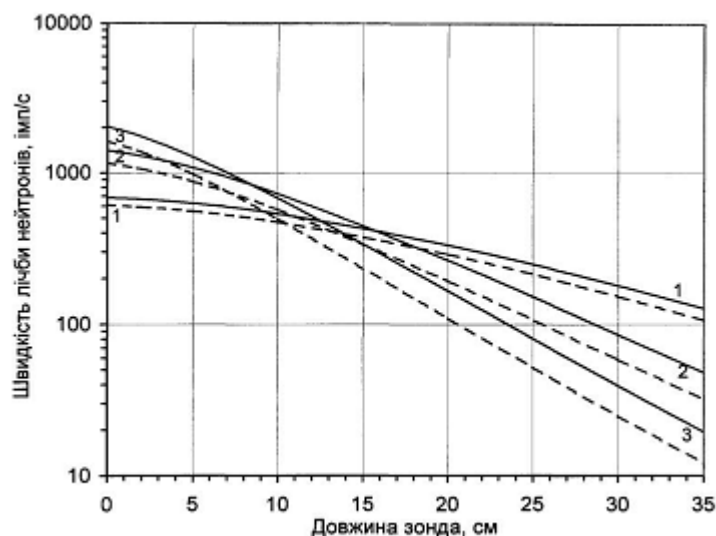
1. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. ГОСТ 5180-84. Введ. 24.10.1984. - М.: Изд-во стандартов, 1984.
2. Скважинная ядерная геофизика. Справочник геофизика / Под ред. О. Л. Кузнецова, А. Л. Поляченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1990. - 318 с.
3. Спосіб нейтрон-нейтронного каротажу та пристрій для його здійснення. Кулик В. В., Звольський С. Т., Месропян В. С., Майстренко І. О. Патент № 42218. Україна, Інститут геофізики НАНУ. 2003, Бюл. № 7.
4. Спосіб багатозондового нейтронного каротажу для одночасного визначення пористості і коефіцієнта нафтонасиченості колекторів та пристрій для його здійснення. Кулик В. В., Бондаренко М. С., Кармазенко В. В. Патент № 74972. Україна, Інститут геофізики НАНУ. 2006, Бюл. № 2.
5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Влагомер поверхностно-глубинный радиоизотопный ВПГР-1 / Изд. «Полтава», 1982. - 43с.
6. Кулик В. В. Показания газонаполненных детекторов нейтронов в однородных геологических средах // Геофиз. журн. - 1999. - № 5. - С. 19-28.
7. Козачок И. А., Кулик В. В., Яковлев Ю. В. Простые приближения для расчета потока тепловых нейтронов в геологических средах // Геофиз. журн. - 1984. - № 2. - С. 23-28.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

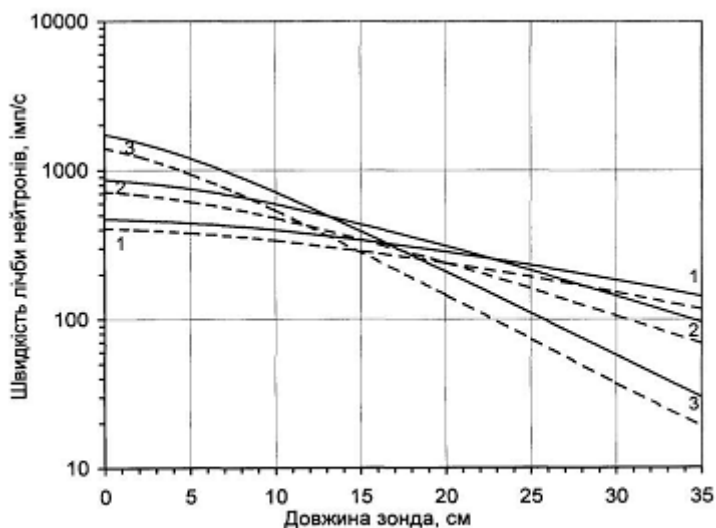
1. Спосіб визначення параметрів природних і техногенних ґрунтів за допомогою радіоізотопного каротажу, що полягає в опроміненні ґрунту швидкими нейтронами та в дискретній реєстрації повільних нейтронів вздовж свердловинного розрізу з заданими кроком по глибині та експозицією по часу, який **відрізняється** тим, що повільні нейтрони реєструють на двох зондових відстанях, одна з яких є доінверсійною, за допомогою відношення показань двох зондів за повільними нейтронами визначають водневміст, за допомогою реєстрації гамма-квантів природного випромінювання ґрунту отримують коефіцієнт глинистості та кількісно оцінюють вміст хімічно зв'язаної води; за допомогою різниці між водневмістом і вмістом хімічно зв'язаної води визначають вологість, за допомогою реєстрації надтеплових нейтронів зондом, узгодженим з ближнім зондом повільних нейтронів, отримують відношення швидкості лічби надтеплових нейтронів до різниці між швидкостями лічби повільних і надтеплових нейтронів та

використовують вказане відношення для визначення вмісту хімічних елементів - аномальних поглиначів нейтронів.

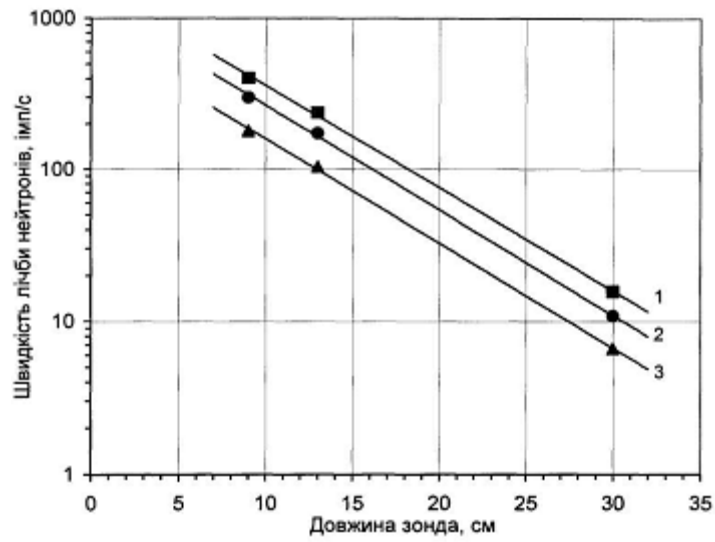
2. Прилад радіоізотопного каротажу, що містить у захисному кожусі джерело швидких нейтронів, детектор повільних нейтронів та блок електроніки, який **відрізняється** тим, що детектор повільних нейтронів є ближнім детектором повільних нейтронів, що розміщено на мінімальній відстані від джерела торцем до нього, крім того, прилад містить дальній детектор повільних нейтронів, що розміщений слідом за ближнім, на відстані від джерела нейтронів розміщено детектор гамма-квантів, між дальнім детектором повільних нейтронів і детектором гамма-квантів розташовано блок електроніки, а з іншого боку від джерела симетрично до ближнього детектора повільних нейтронів розміщено детектор надтеплових нейтронів.



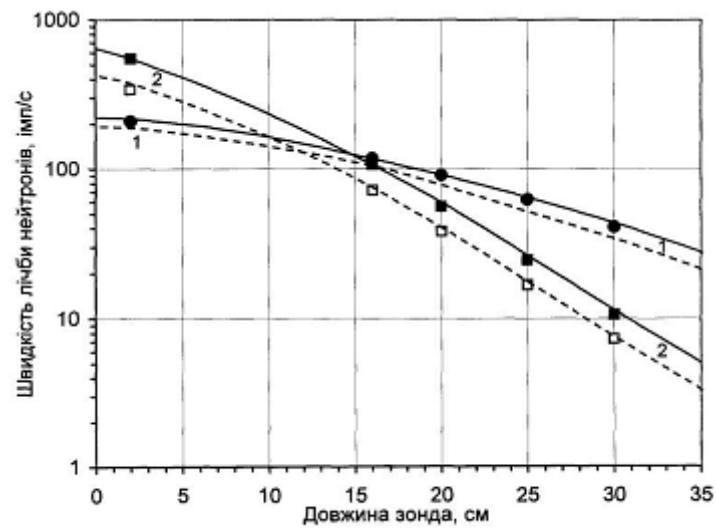
Фіг. 1



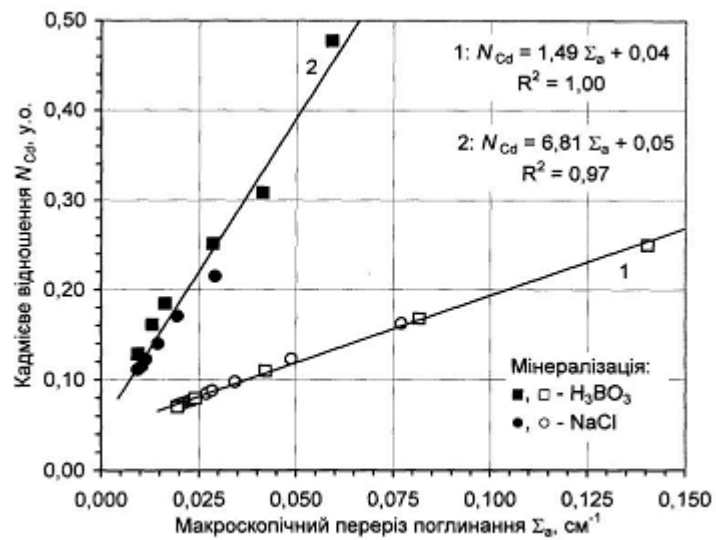
Фіг. 2



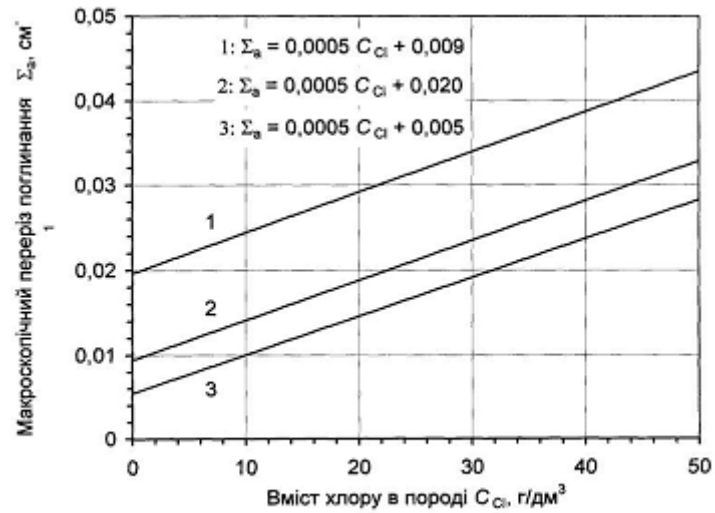
Фіг. 3



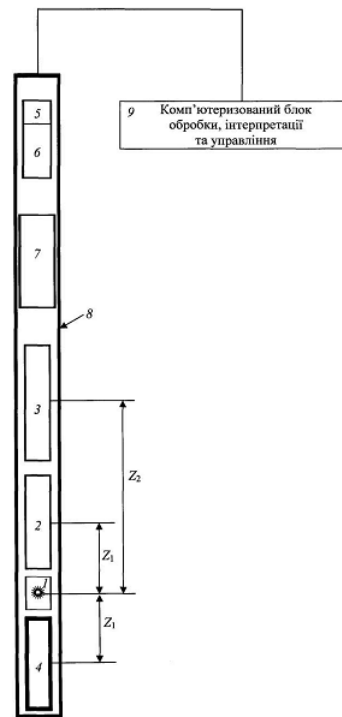
Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6



Фіг. 7

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

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