

**В.В. Кулик<sup>1</sup>, М.С. Бондаренко<sup>1</sup>, А.Ю. Кетов<sup>1</sup>,  
З.М. Євстахевич<sup>1</sup>, С.І. Дейнеко<sup>2</sup>, О.В. Камілова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України, Київ

<sup>2</sup> ДП «Київський інститут інженерних вишукувань і досліджень «Енергопроект», Київ

## **ПРИНЦИПОВІ ПОЛОЖЕННЯ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННИХ ҐРУНТІВ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСУ РАДІОІЗОТОПНОГО КАРОТАЖУ**



*Розроблено принципові положення нової технології дослідження приповерхневих природних і техногенних гірських порід (ґрунтів) на основі апаратурно-методичного комплексу радіоізотопного каротажу. Запропонована об'єктно-адаптаційна методологія визначення параметрів природних і техногенних ґрунтів, яка включає критерії узгодженості і достовірності визначень. Встановлена спроможність запропонованих рішень значно підвищити продуктивність, інформативність і точність свердловинних досліджень природних і техногенних ґрунтів.*

*Ключові слова: каротажна технологія; апаратурно-методичний комплекс; радіоізотопний каротаж; природні і техногенні ґрунти; петрофізичні, інженерно-геологічні, техногенні параметри.*

В Україні виконується великий обсяг робіт по спорудженню будівель різного призначення, промислових споруд, інженерних комунікацій та інших об'єктів. Для успішного виконання цих робіт необхідне проведення інженерно-геологічних досліджень приповерхневих гірських порід (ґрунтів), іноді до глибини 50 м і більше. В таких умовах детальне вивчення вертикального розрізу ґрунтів на основі відбору зразків порід (монолітів) для лабораторних визначень інженерно-геологічних параметрів пов'язане зі значними труднощами і може бути тільки вибіркоким. Важливе значення мають також дослідження техногенних гірських порід (відвали, хвостосховища і т. ін.), пов'язані з екологічними проблемами, задачею рекультивації земель, добуванням корисних компонентів, моніторингом небезпечних геологічних процесів тощо.

У комплексних дослідженнях природних і техногенних ґрунтів значне місце посідають свердловинні радіоізотопні методи, які дають можливість детально, оперативного, з достатньою для практики точністю визначати ряд інженерно-геологічних, петрофізичних, техногенних параметрів ґрунтів в умовах їх залягання (*in situ*). Проте існуюча в Україні технологія радіоізотопного каротажу (РК) та відповідна апаратура і її інтерпретаційно-методичне забезпечення, розроблені ще у 80-х роках ХХ ст., застаріли і не відповідають сучасним вимогам і технічному рівню. У світовій практиці також немає достатньо просунутих в цьому напрямку технологій. У зв'язку з цим задача розробки, створення і впровадження нової технології дослідження ґрунтів на основі апаратурно-методичного комплексу РК є актуальною.

Метою даної роботи є розроблення основних елементів нової технології визначення петрофізичних, інженерно-геологічних і техногенних параметрів ґрунтів з використанням

позитивних напрацювань традиційної технології РК, створеної для умов обсаджених «сухих» свердловин, пройдених ударно-вібраційним способом.

Основна ідея нової технології — за одну спуско-підймальну операцію комплексного приладу РК, який включає вимірювальні зонди нейтрон-нейтронного каротажу (ННК), гамма-гамма-каротажу (ГГК) і гамма-каротажу (ГК), та на основі нового інтерпретаційно-методичного забезпечення отримувати розширену сукупність параметрів досліджуваних порід.

Вирішення цієї проблеми включає низку задач: розробка комплексного багатозондового приладу РК; створення його експериментального зразка на сучасній елементній базі; цифровий запис інформації, її обробка, збереження і передача на комп'ютер; створення метрологічного, інтерпретаційно-методичного і програмного забезпечення; оперативна інтерпретація результатів вимірювань; остаточна інтерпретація з використанням всього наявного комплексу апріорних та інших даних.

Повне вирішення всього циклу вказаних задач є достатньо складним і багатогранним процесом, який повинен закінчитися впровадженням нової технології в практику інженерно-геологічних досліджень ґрунтів. Інноваційний науково-технічний проект Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (2011 р.) «Розробка нової технології визначення інженерно-геологічних параметрів ґрунтів на основі апаратурно-методичного комплексу радіоізотопного каротажу» розглядається нами як перший етап вирішення розглядуваної комплексної проблеми.

Проект присвячений розробленню основних положень нової технології на основі науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт по створенню експериментальних зразків нової апаратури РК, її випробуванню на фізичних і натурних моделях та в реальних свердловинних умовах, створенню метрологічних і методичних основ інтерпретації результатів вимірювань. Виконання проекту здійснено за

активної партнерської участі державного підприємства «Київський інститут інженерних вишукувань і досліджень "Енергопроект"», яке чи не єдине на пострадянському просторі зберегло значні напрацювання науково-технічної школи СРСР в області досліджень ґрунтів методами радіоізотопного каротажу.

Розроблення основних положень нової технології є важливим і необхідним етапом її практичної реалізації; наступним етапом має бути створення дослідних зразків комплексних приладів радіоізотопного каротажу з метою запуску їх в малосерійне виробництво та впровадження технології у виробничих організаціях, які займаються інженерно-геологічними дослідженнями ґрунтів.

#### ТРАДИЦІЙНИЙ КАРОТАЖНИЙ КОМПЛЕКС ТА ЙОГО НЕДОЛІКИ

Стандартний комплекс РК для приповерхневих досліджень ґрунтів включає три методи: ГГК, ННК і ГК [1–4]. Перші два з них використовуються як кількісні (визначення густину ґрунту  $\rho^m$  за ГГК, визначення об'ємної вологості ґрунту  $W_v^n$  за ННК); третій — ГК — використовується якісно як показник літологічних властивостей (в першу чергу, глинистості порід), а кількісно — як значення природного фону, яке потрібно врахувати в показаннях детектора ГГК. Тобто в традиційній технології [2] для кількісних визначень параметрів фактично використовують тільки комплекс ГГК + ННК, а не повний комплекс ГГК + ННК + ГК, що можна вважати *принциповим недоліком* традиційної технології.

Для дослідження ґрунтів широко використовують комплект приладів РК — нейтрон-нейтронний вологомір ВПГР-1 [3] та гамма-гамма густиномір ППГР-1 [4], кожен з яких має діаметр 35 мм і довжину біля 80 см. Датчик приладу ННК ВПГР-1 з «нульовою» довжиною зонда споряджено плутоній-берилієвим (Pu-Be) джерелом нейтронів потужністю до  $5 \cdot 10^4$  нейтронів/с і  $^3\text{He}$ -детектором СМ-17. Датчик приладу ГГК ППГР-1 з довжиною зон-

да 30 см складається з джерела гамма-квантів  $^{137}\text{Cs}$  потужністю до  $1,2 \cdot 10^7$  Бк з початковою енергією  $E_0 = 0,66$  МеВ і кристала  $\text{NaI(Tl)}$  разом з фотоелектронним помножувачем. Прилад ППГР-1 без джерела використовують також для проведення ГК; одночасно дані ГК служать для врахування вкладу природного гамма-випромінювання як фону в показаннях детектора ГКК.

Технологія вимірювань з приладами типу ВПГР і ППГР передбачає наявність обсадженої «сухої» свердловини глибиною до 30 м, яку створюють ударно-вібраційним способом (див. [5]) із сталевих труб зовнішнім діаметром  $2'' \approx 51$  мм і товщиною стінок 5,5 мм. Свердловинні вимірювання проводять дискретно при підйомі приладів РК, здебільшого через кожні 0,5 м з експозицією 10 с; 2–3 реєстрації в кожній точці.

Основним технічним недоліком комплексу приладів ВПГР-1 – ППГР-1 при проведенні свердловинних вимірювань є необхідність тричі виконувати спуско-підймальні операції (дискретна реєстрація ННК, ГКК, ГК), що при глибині свердловин більше 10–15 м значно знижує продуктивність праці та оперативність проведення досліджень.

Третій недолік (технічний, але такий, що впливає на фізичну суть методів і на визначувані параметри) – відсутність оперативного контролю за рівнем дискримінації детекторів гамма-квантів і нейтронів (дискримінатори приладів ВПГР-1 – ППГР-1 «запаковані» в свердловинному зонді і недоступні для оперативного контролю та корекції у випадку необхідності).

Четвертий недолік – загальна «зношеність» апаратури, застаріла елементна база, «дідівські» способи реєстрації (запис показань «вручну» з індикатора імпульсів) та «ручні» спуско-підймальні операції.

Окремим недоліком приладу ВПГР-1 при визначенні вологості, як і інших однозондових приладів ННК, є неконтрольований вплив на показання детектора ННК ряду елементів – аномальних та сильних поглиначів теплових нейтронів (Li, B, Cl, Ti, Mn, K, Fe, рідкісноземельні та ін. еле-

менти), які можуть бути присутніми в досліджуваному розрізі, особливо в техногенних породах.

Невід'ємною частиною традиційної технології є комплект алюмінієво-плексигласових імітаторів густини і вологості, який використовують для отримання градуювальних залежностей ГКК (ППГР-1) і ННК (ВПГР-1). Стандартні градуювальні залежності застосовують на всіх об'єктах досліджень без врахування особливостей цих об'єктів. Це призводить до систематичних похибок при кількісному визначенні як густини порід, так і їх вологості, а також інших параметрів, які пов'язані з цими двома.

Звідси випливає такий недолік – використання традиційної методики не дає змоги врахувати: 1) вплив хімічно зв'язаної води в глинистих мінералах при визначенні вологості вздовж свердловинного розрізу; 2) особливості визначення вологості в зоні аерації (змінна пористість і змінне заповнення пор водою).

При використанні традиційної технології визначають такі параметри [6]:

1) густина  $\rho^{\gamma\gamma}$  за показаннями приладу ГКК ППГР-1 і за градуювальною залежністю для цього приладу, отриманою на алюмінієво-плексигласових імітаторах;

2) об'ємна вологість  $W_V^n$  за показаннями приладу ННК ВПГР-1 і за градуювальною залежністю, отриманою на тих же імітаторах;

3) густина сухого ґрунту

$$\rho_d^{\gamma\gamma+n} = \rho^{\gamma\gamma} - \rho_w W_V^n, \quad (1)$$

де  $\rho_w$  – густина води, яка приймається рівною  $\rho_w = 1,00$  г/см<sup>3</sup>.

При цьому значення параметра  $\rho_d$  є орієнтовним з огляду на недоліки визначення параметрів  $\rho$  і  $W_V$  за традиційною технологією. Визначення інших параметрів, таких, як густина твердої фази  $\rho_s$ , коефіцієнт водонасиченості  $S_r$  за цією технологією іноді дає недоречні результати через неврахування значних систематичних похибок у вихідних значеннях параметрів  $\rho^{\gamma\gamma}$  і  $W_V^n$ .

Методика визначення коефіцієнта глинистості  $k_{гн}^{\gamma}$  за ГК та вмісту хімічно зв'язаної води

$C_{x.z.v.}$  в глинистих мінералах в рамках цієї технології не розроблена.

Таким чином, апаратура радіоізотопного каротажу і методики, розроблені ще за радянських часів, нагально потребують оновлення і вдосконалення. Необхідне створення нової технології, яка базується на апаратурі і методиках сучасного рівня. На основі нових апаратурно-методичних комплексів необхідно розробити більш інформативні способи інтерпретації вимірювань, які дають можливість значно розширити коло параметрів, що визначаються, підвищити достовірність, точність і оперативність вимірювань.

### АПАРАТУРА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

**Модернізація і модифікація приладів РК.** Під час виконання проекту було модернізовано комплект серійних приладів ВПГР + ППГР, які мають ряд технічних недоліків (ускладненість настройки і контролю сигналів датчика, в т. ч. відсутність можливості селекції імпульсів за амплітудою; неможливість візуального контролю за роботою датчика; відсутність сучасних елементів для реєстрації та обробки імпульсів, а також для збереження, відтворення і передачі інформації; неможливість оперативної попередньої інтерпретації результатів вимірювань).

Мета модернізації — розширення можливостей апаратури на основі сучасної елементної бази. Це було досягнуто таким чином [7]:

- ✦ переміщено дискримінатор імпульсів з електронного блоку каротажного зонда в переносний блок керування, що дало можливість виконувати настройку і контроль сигналів датчика за допомогою осцилографа;
- ✦ в переносному блоці керування розміщено мікропроцесор для реєстрації і обробки інформативних імпульсів і встановлено флеш-пам'ять для збереження, відтворення та передачі інформації через послідовний порт в комп'ютер для подальшої інтерпретації вимірювань.

Технічним результатом модернізації серійної апаратури є:

- ✦ оперативне регулювання і контроль рівня дискримінації;
- ✦ попередня оперативна інтерпретація та видача шуканих інженерно-геологічних і петрофізичних параметрів на місці вимірювань;
- ✦ розширення можливостей використання апаратури РК для розв'язання інженерно-геологічних задач в необсаджених свердловинах.

На основі модифікації приладу ВПГР створено двозондовий прилад ДНК-1, призначений для дослідження ґрунтів, що містять аномальні поглиначі нейтронів. Такий прилад разом з ГК дає можливість одночасно визначати вологість (за способом компенсаційного нейтронного каротажу [8]) і концентрацію аномальних поглиначів (за показаннями індивідуального зонда). Розроблено також більш досконалий багатоканальний прилад РК, що включає два зонди повільних нейтронів, узгоджений зонд надтеплових нейтронів та датчик ГК; теоретично і експериментально обґрунтовано способи використання такого приладу.

### Розробка нового трикомпонентного приладу.

В основу нового приладу поставлено задачу створення єдиного трикомпонентного приладу РК для комплексного дослідження ґрунтів, що містить зонд ННК, зонд ГГК і зонд ГК [9] та дозволяє за одну спуско-підймальну операцію визначати розширену сукупність параметрів ґрунтів.

Загальні вимоги до багатозондового приладу РК та оптимальні умови вимірювань полягають ось у чому:

- 1) компоновання всіх зондів (ННК, ГГК і ГК) комплексного приладу РК повинно виключати їх взаємний вплив;
- 2) всі три зонди просторово мають бути розміщеними так, щоб загальна довжина приладу РК була щонайменшою (при каротажі свердловин, особливо неглибоких; ця вимога пов'язана з необхідністю отримання даних в максимально можливій для вимірювань частині розрізу);
- 3) рівень дискримінації детектора ГК слід вибирати таким, щоб одночасно детектор ГК служив вимірювачем природного фону гамма-випромінювання для детектора ГГК;

4) прилад має бути сконструйований на сучасній елементній базі і забезпечувати можливість оперативної настройки і контроль сигналів датчика, давати можливість реєструвати та обробляти інформативні імпульси, зберігати, відтворювати та передавати інформацію.

Для забезпечення виконання першої вимоги нами було проведено експеримент з компонентами макета комплексного приладу РК в фізичній моделі гірської породи. Модель являє собою циліндричний бак діаметром 90 см і висотою 85 см, який заповнений водонасиченим піском; свердловину імітує сталевая закрита знизу труба діаметром 51 мм з товщиною стінок 5 мм. Було використано  $^{137}\text{Cs}$  джерело гамма-квантів потужністю  $6,6 \cdot 10^6$  Бк і Pu-Be джерело нейтронів потужністю  $4,1 \cdot 10^4$  нейтронів/с. Джерело гамма-квантів (потім нейтронів) розміщували в свердловині біля дна моделі, детектор гамма-квантів переміщували вздовж свердловини.

Результати вимірювань дали можливість, зокрема, встановити:

1) щоб для зонда ГГК при довжині зонда 30 см джерело нейтронів не впливало на показання детектора ГГК, відстань між ними повинна перевищувати 65 см, а з урахуванням загальних умов вимірювань — складати не менше 80–85 см;

2) щоб джерела гамма-квантів і нейтронів (при даній їх потужності) не впливали на показання детектора ГГК, відстань між відповідним джерелом і детектором ГГК повинна складати, в загальному випадку, не менше 80–85 см;

3) джерело гамма-квантів і природне гамма-випромінювання практично не впливають на показання  $^3\text{He}$ -детектора нейтронів.

Здійснення такого багатозондового приладу РК може бути виконано у різних варіантах в залежності від особливостей розв'язуваної задачі. На даному етапі робіт виготовлено експериментальний зразок одного з можливих багатозондових приладів РК, а польові випробування пройшли компоненти цього приладу порізно.

У зв'язку з використанням в нових і модифікованих приладах РК тих же джерел нейтронів і гамма-квантів та детекторів, що і в серійних приладах, за тих же умов вимірювань («суха» обсаджена свердловина) режим роботи при проведенні каротажу залишається незмінним (запис показань приладу через кожні 0,5 м з експозицією 10 с, 2–3 реєстрації в кожній точці).

### ПРИНЦИПОВІ ПОЛОЖЕННЯ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

**Об'єктно-адаптаційна методологія інтерпретації даних РК.** Як зазначено вище, широковживана у виробничій практиці методологія (як сукупність певних методик, способів, підходів) в ряді випадків призводить до значних систематичних похибок і обмежень при визначенні інженерно-геологічних параметрів ґрунтів. У зв'язку з цим нами розроблена вдосконалена методологія визначення параметрів ґрунтів за даними комплексу РК, яка передбачає, зокрема, врахування особливостей досліджуваного об'єкта та пристосування інтерпретаційно-методичного і метрологічного забезпечення до цих особливостей. Таку методологію можна назвати об'єктно-адаптаційною (ОАМ).

ОАМ має передумовою використання різних градууювальних залежностей ННК для визначення вологості в зоні аерації і в зоні повного водонасичення (ЗПВ), градууювальної залежності ГГК для визначення коефіцієнта глинистості; врахування зв'язаної води в глинах при визначенні вологості, врахування впливу аномальних поглиначів, градууювальних залежностей ННК для визначення мінералів, що містять аномальні поглиначі чи для визначення концентрації окремих елементів-поглиначів і т. ін.

**Похибки вимірювань.** При визначенні параметрів ґрунтів як за окремими методами РК, так і за їх комплексами необхідно кількісно оцінювати похибки вимірювань. В межах цих похибок можна говорити про достовірність отриманих результатів.

У загальному випадку похибка визначень параметрів ґрунту каротажними методами складається з апаратурної, статистичної, метроло-

гічної і методичної похибки, а також похибки, обумовленої неточним знанням свердловинних умов вимірювань. Остання в нашій розробці практично відсутня, оскільки вплив свердловини незначний у зв'язку з її малим діаметром, незмінними параметрами і відсутністю в ній флюїду. Апаратурна похибка визначається нестійкістю апаратури і для запропонованих приладів складає менше 1 %. Метрологічна похибка, що пов'язана з градуальною залежністю для даного типу апаратури і використовуваними нами фізичними моделями, складає приблизно  $\pm 1\%$  від шуканого параметра ґрунту.

При РК статистична похибка вимірювань зумовлена статистичним характером процесів випромінювання і реєстрації, а також статистичним характером взаємодії нейтронів і гамма-квантів з матеріалом ґрунту. Нами виконані кількісні оцінки статистичної складової абсолютної похибки основних параметрів ґрунту при описаному вище режимі каротажу і для використовуваних джерел та детекторів. Наприклад, для вологості, яка здебільшого змінюється в межах  $\sim(1-40)\%$ , абсолютна статистична похибка складає  $\sim(0,5-1,5)\%$ ; для густини, що переважно змінюється від 1,3 до 2,3 г/см<sup>3</sup>, похибка складає  $\sim 0,03$  г/см<sup>3</sup>; для характерної пористості в діапазоні  $\sim(35-45)\%$  ця похибка складає  $\sim 1,5-2,0\%$ .

Виконана нами кількісна оцінка загальної похибки вимірювань в цілому показує, що отримані параметри в достатній мірі задовольняють практичним потребам.

**Критерії достовірності і точності досліджень за ОАМ.** Основним критерієм достовірності і точності визначення параметрів ґрунтів, отриманих за допомогою геофізичних свердловинних методів, є результати незалежних лабораторних вимірювань, якщо вони виконані з дотриманням усіх процедур [10]. Проте відібрати проби і отримати в лабораторних умовах достатньо точні значення параметрів, які б відповідали їх величині в умовах природного залягання, не завжди можливо, тому лабораторні визначення часто мають орієнтовний характер.

Поряд з незалежними вимірюваннями необхідно мати додаткові якісні і кількісні критерії достовірності свердловинних визначень параметрів ґрунтів.

Загальним критерієм може бути взаємна кількісна і якісна узгодженість сукупності параметрів, отриманих за допомогою комплексу методів РК.

Ми запропонували такі критерії узгодженості параметрів ґрунтів:

1) в зоні повного водонасичення вологість, визначена за допомогою комплексу ННК + ГК, повинна з достатньою точністю співпадати з вологістю за ГГК;

2) в зоні аерації «істинна» вологість за РК і позірна за ГГК розходяться тим сильніше, чим менша водонасиченість ґрунту; ці дві величини не співпадають також і у зоні нижче рівня ґрунтових вод, якщо тверді частинки мають закрити пористість у вигляді пустот без флюїду (як у частинках золи теплових електростанцій);

3) коефіцієнт водонасиченості за РК у зоні аерації завжди менший 1, а в зоні повного водонасичення — приблизно дорівнює 1; інтервали, в яких коефіцієнт водонасиченості виходить істотно більшим 1, потребують додаткових уточнень;

4) густина твердої фази, визначена за комплексом РК (для зони повного водонасичення), повинна узгоджуватися з апіорними даними.

5) значення величини пористості і густини сухого ґрунту повинні відповідати загальним уявленням про ці величини в конкретних об'єктах досліджень.

**Принципові можливості комплексу радіоізотопного каротажу (ГК, ГГК, ННК)**

1) Використання ГК:

- ✦ характеристика літологічних властивостей свердловинного розрізу в природних ґрунтах, зокрема глинистості породи;
- ✦ визначення коефіцієнта глинистості;
- ✦ розрізнення техногенного і природного інтервалів розрізу;
- ✦ визначення петрофізичних параметрів ґрунтів у комплексі з ННК і ГГК.

## 2) Використання ГГК:

- ✦ визначення густини породи як у зоні аерації, так і в зоні водонасичення;
- ✦ визначення густини сухої породи (разом з ННК і ГК) як у зоні аерації, так і в зоні водонасичення;
- ✦ визначення густини твердої фази (разом з ННК і ГК) у зоні водонасичення;
- ✦ визначення вологості і пористості в зоні водонасичення;
- ✦ визначення пористості як у зоні аерації, так і в зоні водонасичення (разом з ННК і ГК);
- ✦ якісне визначення зони аерації за розходженням діаграми позірної вологості за ГГК і діаграми вологості за комплексом ННК + ГК + ГГК;
- ✦ якісне і кількісне визначення (разом з ННК і ГК) закритої пористості твердих частинок золи теплових електростанцій (ТЕС) нижче рівня ґрунтових вод (РГВ);
- ✦ якісне визначення ЗПВ по збіжності вологості за ГГК і вологості за ННК+ГК.

## 3) Використання ННК:

- ✦ визначення вологості в зоні аерації (разом з ГК і ГГК);
- ✦ визначення вологості і пористості в зоні повного водонасичення (разом з ГК);
- ✦ визначення вологості в проміжній (капілярній) зоні (разом з ГК і ГГК);
- ✦ визначення коефіцієнта водонасиченості (разом з ГК і ГГК);
- ✦ якісне визначення зони аерації за розходженням діаграми вологості за ННК + ГК + ГГК і діаграми позірної вологості за ГГК;
- ✦ якісне і кількісне визначення закритої пористості твердих частинок золи нижче РГВ (разом з ГГК і ГК).
- ✦ якісне визначення ЗПВ по збіжності вологості за ННК+ГК і вологості за ГГК;
- ✦ якісне встановлення наявності аномальних поглиначів теплових нейтронів у свердловинному розрізі (за розходженням даних по вологості згідно з однозондовим і двозондовим ННК);
- ✦ кількісна оцінка концентрації аномальних поглиначів (з використанням апріорних даних).

## ПАРАМЕТРИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬСЯ ЗА НОВОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

В зоні аерації нова технологія дозволяє уточнити значення визначуваних параметрів (ліквідувати неконтрольовані систематичні похибки традиційної технології), а також значно розширити їх сукупність. При цьому визначаються такі параметри:

1) густина ґрунту  $\rho = \rho^{\gamma\gamma}$  – за уточненою градуальною залежністю ГГК;

2) коефіцієнт глинистості ґрунту  $k_{\text{гл}}^{\gamma}$  за градуальною залежністю ГК (див. [11]);

3) вологість ґрунту  $W_V^{\text{PK}}$  за комплексом РК  $\equiv$  ННК + ГГК + ГК; використовується градуально залежність для ННК в зоні аерації [12], а також враховуються коефіцієнт глинистості та зміна густини ґрунту в зоні аерації за рахунок зміни пористості і зміни водонасичення пор [13];

4) густина сухого ґрунту (включаючи глини):

$$\rho_d^{\text{PK}} = \rho^{\gamma\gamma} - \rho_w W_V^{\text{PK}}, \quad (2)$$

де вологість  $W_V^{\text{PK}}$  отримана з врахуванням коефіцієнта глинистості і зміни густини ґрунту вздовж свердловинного розрізу, густина води  $\rho_w = 1,00 \text{ г/см}^3$ ;

5) пористість ґрунту:

$$n^{\text{PK}} = 1 - \rho_s^{\text{PK}} / \rho_s, \quad (3)$$

де густина твердої фази  $\rho_s = \text{const}$  задається на основі усереднення  $\rho_s$  в зоні водонасичення за даними РК (див. нижче), або за попереднім лабораторним визначенням в даному чи аналогічних розрізах чи виходячи з загальних параметрів типових ґрунтів;

6) коефіцієнт водонасиченості:

$$S_r^{\text{PK}} = \frac{\rho_s W_V^{\text{PK}}}{\rho_s - \rho^{\gamma\gamma} + \rho_w W_V^{\text{PK}}}; \quad (4)$$

7) об'ємний вміст хімічно зв'язаної води:

$$C_{\text{х.з.в.}}^{\gamma} = \omega_{\text{гл}} k_{\text{гл}}^{\gamma}, \quad (5)$$

де водневий індекс глин  $\omega_{\text{гл}} = \text{const}$  задається незалежно;

8) концентрація аномальних поглиначів або мінералу, який їх містить.

Отже, в зоні аерації нова технологія дозволяє збільшити кількість визначуваних пара-

метрів (до 8-ми) і врахувати особливості об'єкта (глинистість, зміна густини тощо).

**Зона водонасичення.** У зоні нижче РГВ (за припущення, що пори повністю насичені водою) за нашою технологією можна визначити такі параметри:

1) густина ґрунту  $\rho = \rho^\gamma$  — за уточненою градувальною залежністю ГГК;

2) коефіцієнт глинистісті ґрунту  $k_{\text{гл}}^\gamma$  за градувальною залежністю ГГК [11];

3) вологість ґрунту  $W_V^{\text{ПК}}$  за комплексом РК  $\equiv$  ННК + ГГК + ГГК; використовується градувальна залежність ННК для зони водонасичення [12], а також враховуються глинистість та зміна густини ґрунту за рахунок відмінностей у густині глинистих мінералів і кварцу; у випадку, коли останніми відмінностями можна знехтувати, вологість в зоні водонасичення визначається за комплексом ННК + ГГК;

4) вологість ґрунту  $W_V^\gamma$  за ГГК:

$$W_V^\gamma = \frac{\bar{\rho}_s^{\text{ПК}} - \rho^\gamma}{\bar{\rho}_s^{\text{ПК}} - \rho_w}, \quad (6)$$

де густина води  $\rho_w = 1,00 \text{ г/см}^3$ ,  $\bar{\rho}_s^{\text{ПК}}$  — усереднене значення густини твердої фази, яка визначена за комплексом РК;

5) густина твердих частинок ґрунту за комплексом РК:

$$\rho_s^{\text{ПК}} = \frac{\rho^\gamma - \rho_w W_V^{\text{ПК}}}{1 - W_V^{\text{ПК}}}; \quad (7)$$

6) густина твердої фази  $\tilde{\rho}_s^{\text{ПК}}$  для випадку твердих частинок із закритими порами:

$$\tilde{\rho}_s^{\text{ПК}} = \frac{\rho_d^{\text{ПК}}}{1 - (n^{n+\gamma} + n^{\text{закр.}})}, \quad (8)$$

де  $n^{n+\gamma}$  — пористість, визначена за ННК+ГГК;  $n^{\text{закр.}}$  — закрыта пористість твердих частинок, яку отримують з урахуванням даних лабораторних визначень;

7) густина сухого ґрунту:

$$\rho_d^{\text{ПК}} = \rho^\gamma - \rho_w W_V^{\text{ПК}}; \quad (9)$$

8) пористість через густину сухого ґрунту і густину твердих частинок:

$$n^{\text{ПК}} = 1 - \frac{\rho_d^{\text{ПК}}}{\rho_s}; \quad (10)$$

9) закрыта пористість твердих частинок:

$$n_{\text{тв.ч.}}^{\text{ПК}} = n^{\text{ПК}} - W_V^{\text{ПК}} = W_V^{\text{ПК}} \frac{(1 - S_r)}{S_r}; \quad (11)$$

10) коефіцієнт водонасиченості:

$$S_r^{\text{ПК}} = \frac{\rho_s W_V^{\text{ПК}}}{\rho_s - \rho^\gamma + \rho_w W_V^{\text{ПК}}}; \quad (12)$$

11) об'ємний вміст хімічно зв'язаної води:

$$C_{\text{х.з.в.}}^{n+\gamma} = W_V^n - W_V^\gamma; \quad (13)$$

12) водневий індекс глини:

$$\omega_{\text{гл}}^{\text{ПК}} = \frac{C_{\text{х.з.в.}}^{n+\gamma}}{k_{\text{гл}}^\gamma}; \quad (14)$$

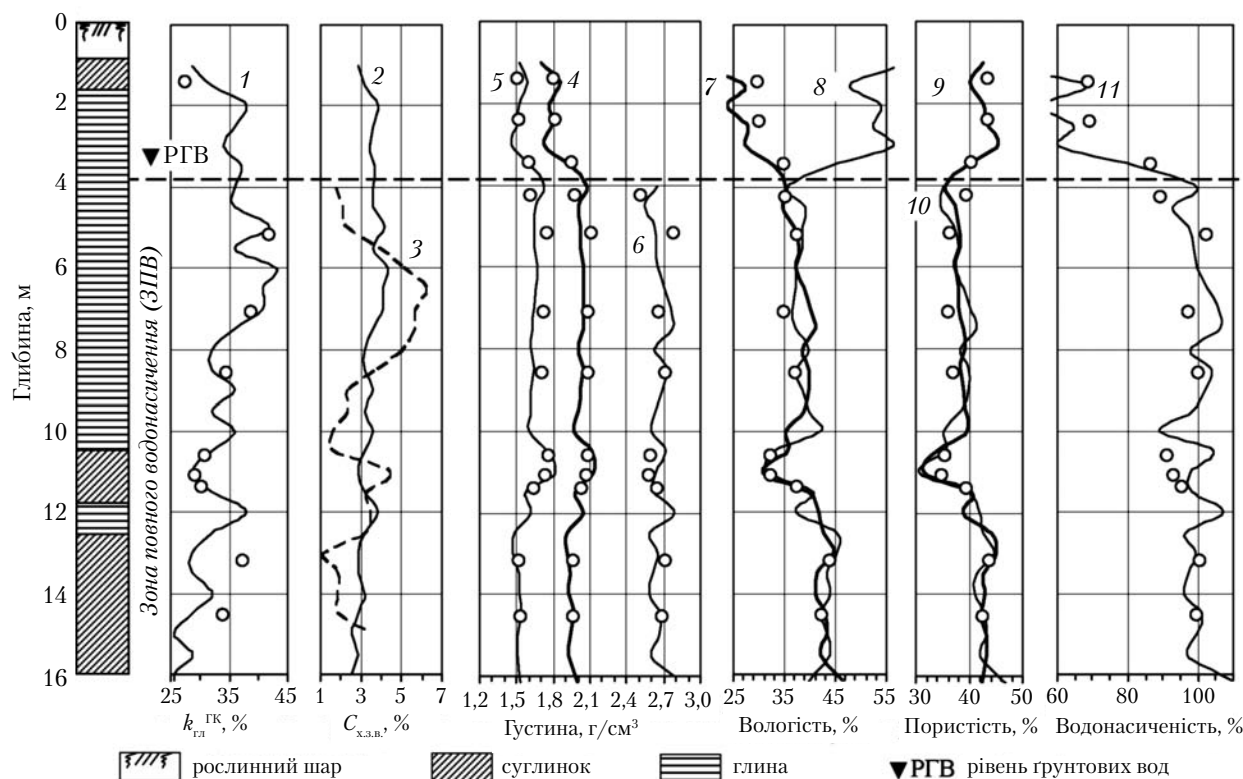
13) концентрація аномальних поглиначів або мінералу, який їх містить; визначається за окремою процедурою з використанням відповідних градувальних залежностей.

Таким чином, нова технологія дозволяє визначити широку сукупність петрофізичних, інженерно-геологічних і техногенних параметрів, отриманих за допомогою комплексу РК з використанням додаткових лабораторних або інших апріорних даних.

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

**Природні піщано-глинисті ґрунти.** Об'єктом нашого дослідження є природні ґрунти в районі м. Кривий Ріг, на яких заплановано будівництво дамби хвостосховища, що вимагає попереднього визначення інженерно-геологічних параметрів цих ґрунтів. На рис. 1 наведено приклад таких визначень за результатами вимірювань комплексом радіоізотопного каротажу в обсаджених сталевією трубою свердловинах, заповнених повітрям. Значення цих досліджень для створення інтерпретаційно-методичного забезпечення особливе, у зв'язку з досить представницьким набором лабораторних визначень ряду параметрів.





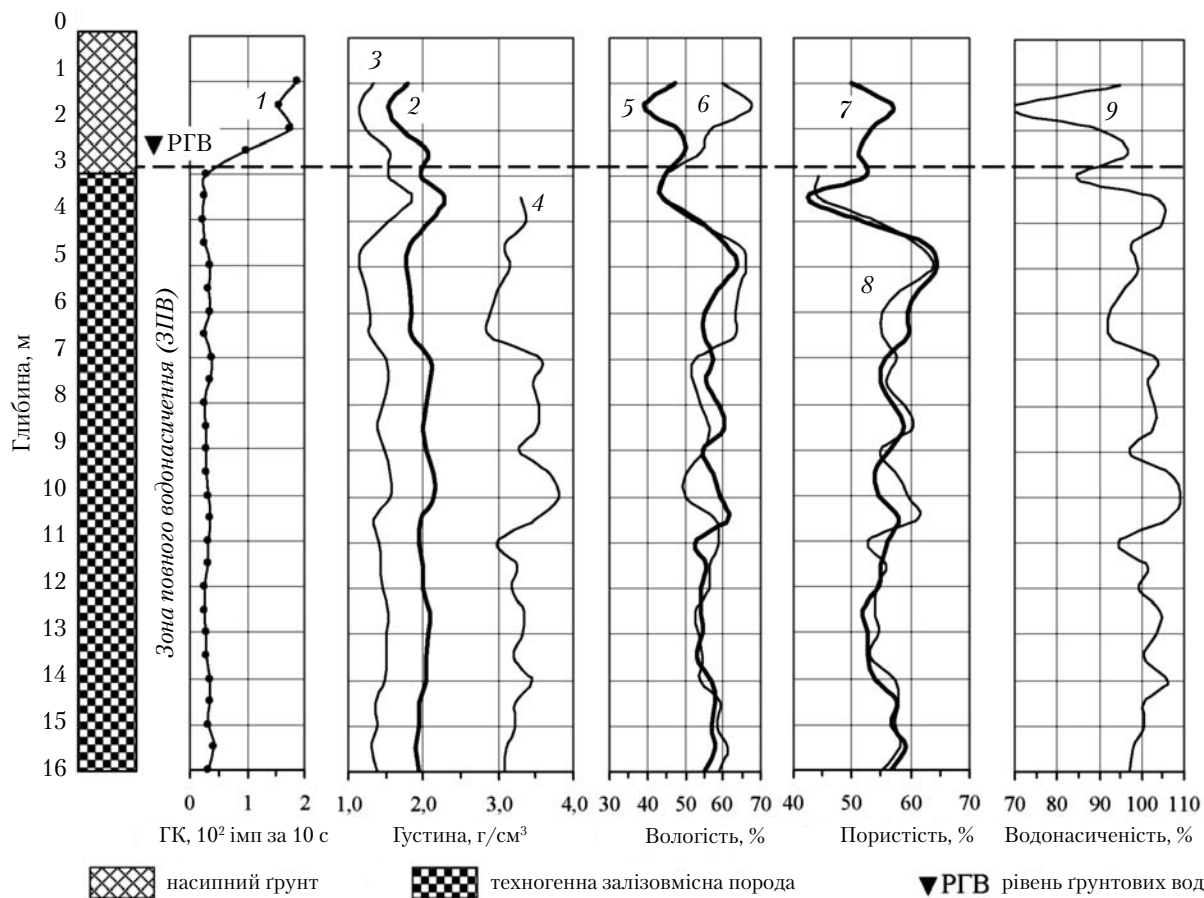
**Рис. 1.** Розподіл інженерно-геологічних параметрів ґрунту вздовж розрізу свердловини № 6079 (м. Кривий Пір). Шифр кривих: 1 – коефіцієнт глинистості за ГК; вміст хімічно зв’язаної води: 2 – за ГК, 3 – за ННК + ГК в ЗПВ; густина: 4 – ґрунту за ГК, 5 – сухого ґрунту за РК, 6 – твердої фази ґрунту за РК; вологість: 7 – за РК, 8 – за ГК; пористість: 9 – за РК, 10 – за ННК+ГК в ЗПВ; 11 – водонасиченість за РК; ○ – лабораторні визначення

Крива 1 на рис. 1 характеризує коефіцієнт глинистості порід за даними ГК. За цими результатами у ґрунтовому розрізі виділено пласти глини і суглинку. Криві 2 і 3 показують можливість визначення вмісту хімічно зв’язаної води в глинах геофізичними методами двома незалежними способами (див. (5) і (13)). Як впливає з виконаних оцінок, обидва підходи в першому наближенні збігаються і дають реалістичні оцінки величини  $C_{x.z.v.}$ . Проте розроблені способи вимагають подальшого вдосконалення. Криві 4–6 дають значення густини ґрунту, густини сухого ґрунту і густини твердої фази ґрунту вздовж розрізу свердловини. Особливий інтерес представляє розподіл 6 для густини твердої фази в ЗПВ; параметр вперше отриманий за допомогою геофізичних

свердловинних методів. Криві 7 і 8 дають розподіл об’ємної вологості уздовж розрізу свердловин. Ці криві в ЗПВ показують два можливі способи незалежного визначення шуканого параметра.

У зоні аерації крива 8 відображає позірну вологість за ГК. Відмінність між кривими 7 і 8 у зоні аерації є одним із критеріїв для її виділення. За результатами інтерпретації границя між зонами аерації і водонасичення знаходиться на глибині ~ 4 м. Крива 9 показує розподіл пористості за РК, крива 10 – пористості за ННК+ГК у зоні повного водонасичення, крива 11 – коефіцієнта водонасиченості.

У цілому результати проведеної інтерпретації добре узгоджуються з незалежними лабораторними даними, а розроблений комплекс для



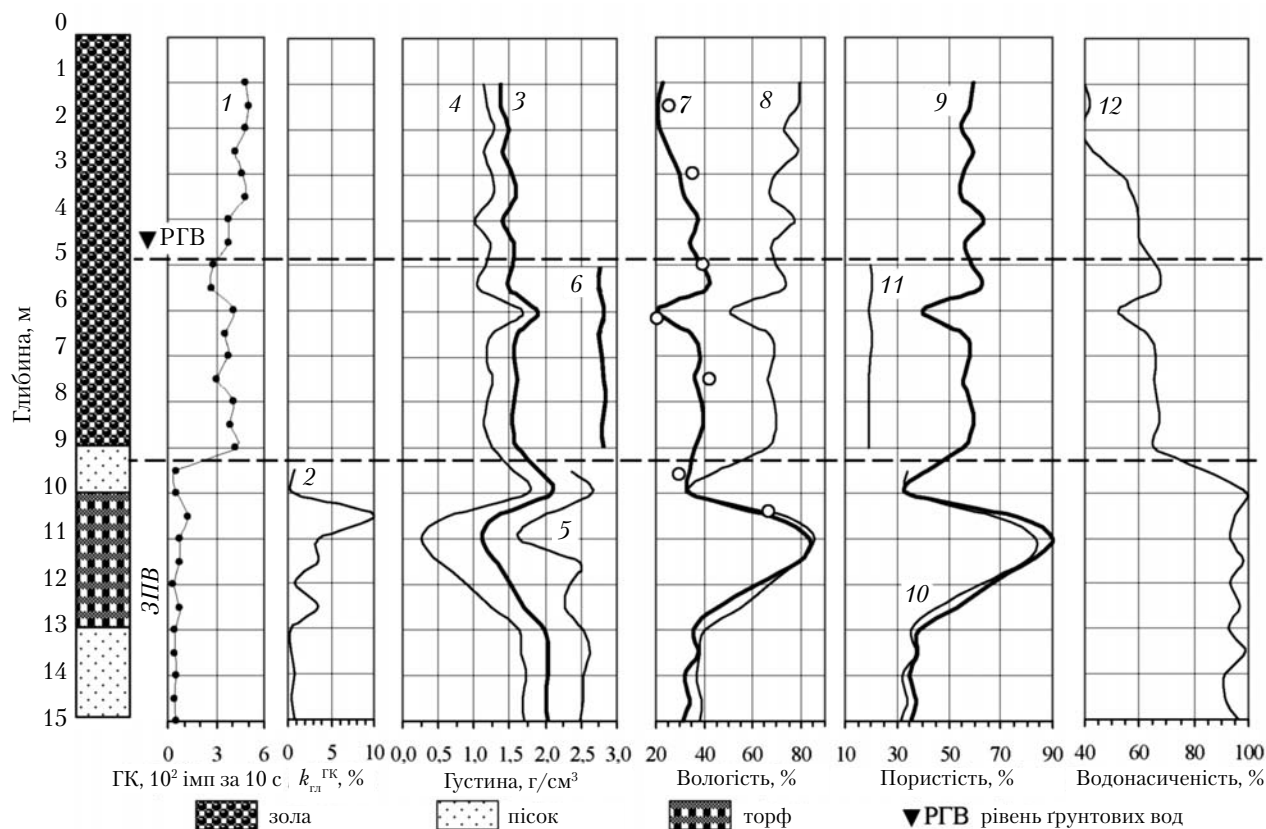
**Рис. 2.** Розподіл показань ГК і інженерно-геологічних параметрів ґрунту вздовж розрізу свердловини № 3017 (ПГЗК). Шифр кривих: 1 – показання ГК; густина: 2 – ґрунту за ГК, 3 – сухого ґрунту за РК, 4 – твердої фази ґрунту за РК; вологість: 5 – за РК (2ННК), 6 – за ГК; пористість: 7 – за РК, 8 – за 2ННК в ЗПВ; 9 – водонасиченість за РК

одержання ряду додаткових параметрів самоузгоджений і достатньо інформативний.

**Залізовмісні породи хвостосховищ ГЗК.** У зв'язку з тривалою експлуатацією хвостосховища Північного гірничо-збагачувального комбінату (ПГЗК, м. Кривий Ріг) його заповнення досягло критичного рівня. Для вирішення цієї проблеми здійснюється нарощування дамб хвостосховища [14] та розширення його площі. Загальна характеристика хвостосховища та лежалих хвостів ПГЗК наведена в роботі [15]. Частину хвостосховища ПГЗК було рекультивовано, лежалі хвости закриті ґрунтовим шаром і нині тут розташоване пасо-

висько для худоби. Однак невдовзі на цій ділянці планують спорудити нову дамбу і існуюче хвостосховище буде розширюватися. Саме на цій ділянці виконано геофізичні свердловинні дослідження, результати яких наведено на рис. 2.

Особливості розрізу свердловини, наведеної на рис. 2 за даними РК такі: насипний ґрунт до глибини ~ 2,5 м; з глибини ~ 3,0 м техногенна залізовмісна порода; зона аерації – до глибини ~ 2,5 м включно; згідно ГК (крива 1) розріз в інтервалі 3,0–16,0 м майже однорідний і представлений практично нерадіоактивними лежалими залізовмісними хвостами ГЗК.



**Рис. 3.** Розподіл показань ГК і інженерно-геологічних параметрів ґрунту вздовж розрізу свердловини № 1653 (ТТЕС). Шифр кривих: 1 – показання ГК; 2 – коефіцієнт глинистості за ГК; густина: 3 – ґрунту за ГГК, 4 – сухого ґрунту за РК, 5 – твердої фази ґрунту за РК, 6 – твердої фази золи за РК; вологість: 7 – за РК, 8 – за ГГК; пористість: 9 – за РК, 10 – за ННК+ГК в ЗПВ, 11 – твердих частинок золи за РК; 12 – водонасиченість за РК; ○ – лабораторні визначення

Криві 2–4 відображають значення густини ґрунту, густини сухого ґрунту і густини твердої фази ґрунту; крива 5 – вологість, визначену за відношенням двох зондів ННК у зв'язку з сильним поглинанням повільних нейтронів залізом, яке в значній кількості (до 20 ваг. % [16]) міститься в техногенному ґрунті.

Вологість за ГГК (крива 6) в ЗПВ відповідає вологості за 2ННК. При цьому для визначення вологості за ГГК як константу густини твердої фази ґрунту використано усереднене значення останньої за каротажними даними (крива 4). Зона аерації чітко виділяється за розбіжністю кривих 5 і 6, ЗПВ виділяється за тими ж даними (з 3 м), де криві 5 і 6 практично збігаються. Крива 7 показує розподіл порис-

тості за РК, крива 8 – пористості за 2ННК в зоні повного водонасичення, крива 9 – коефіцієнта водонасиченості.

**Золовідвали теплових електростанцій.** Загальні характеристики зольних мас теплових електростанцій (ТЕС) наведені у роботах [17, 18]. Через обмеженість площ, відведених для золовідвалу Трипільської ТЕС, виникла необхідність нарощування його вертикальної потужності. Це вимагає оцінки інженерно-геологічних і техногенних параметрів золовідвалу та природного ґрунту, який служить його основою.

На рис. 3 наведено приклад таких досліджень, виконаних комплексом радіоізотопного каротажу на основі окремих компонентів ННК, ГК, ГГК. За показаннями ГК (крива 1) виділя-

ються техногенна частина розрізу (зола, що характеризується високою природною радіоактивністю) і природна (слабоглинистий пісок, торф). Крива 2 характеризує глинистість природних ґрунтів. Криві 3–5 дають значення густини ґрунту, густини сухого ґрунту і густини твердої фази ґрунту вздовж розрізу свердловини. Особливий інтерес представляє розподіл 6 густини твердої фази золи. Криві 7 і 8 (остання – глибше 9 м) дають розподіл об'ємної вологості вздовж розрізу, отриманої двома можливими способами незалежного визначення вологості – за РК і за ГГК. Крива 8 вище ЗПВ відображає позірну вологість за ГГК (до глибини ~ 9 м). Крива 9 показує розподіл пористості за РК, а крива 10 – пористості за ННК + ГК в ЗПВ; крива 11 – закрита пористість твердих частинок золи. Це ще один параметр, вперше отриманий каротажними методами. Крива 12 – коефіцієнт водонасиченості.

Особливий інтерес у розрізі представляє інтервал 5–9 м – проміжна зона, що знаходиться нижче РГВ, але має коефіцієнт водонасиченості 60–70 %. Недонасичення в цій зоні пов'язане із закритими порами в твердих частинках золи. Величина закритої пористості складає до 20 % (крива 11). За комплексом даних у розрізі також виділяється пласт торфу (інтервал ~ 10–13 м), що має густину до 1,2 г/см<sup>3</sup>, густину сухої породи – до 0,4 г/см<sup>3</sup> і високу пористість.

Таким чином, результати випробувань свідчать, що:

1) отримані кількісні дані і виконаний аналіз показали високу інформативність і точність розробленої методики визначень параметрів природних і техногенних ґрунтів комплексом РК;

2) результати РК дають можливість: а) за даними ГК розділити розріз на природну і техногенну частину, а природну частину розділити за літологією; б) отримати розширену сукупність параметрів ґрунту; в) якісно розділити зони повного і неповного водонасичення; г) зону неповного водонасичення в золі розділити на зону аерації і зону недонасичення, пов'язану з

наявністю закритих пустих пор у твердих частинках золи.

3) розширена сукупність параметрів, визначена за об'єктно-адаптаційною методологією ІГФ, відповідає критеріям узгодженості результатів; оцінка межі зон аерації і повного водонасичення практично збігається з даними прямих спостережень за рівнем ґрунтових вод. Каротажні дані підтверджені лабораторними визначеннями ряду параметрів.

## ВИСНОВКИ

1. На основі створеного апаратурно-методичного комплексу радіоізотопного каротажу (РК) (нейтрон-нейтронного, гамма-гамма і гамма-каротажу – ННК, ГГК і ГК) розроблено принципові положення нової технології визначення петрофізичних, інженерно-геологічних і техногенних параметрів ґрунтів.

2. Виконано модернізацію серійної апаратури РК, розроблено і створено експериментальний зразок нового двозондового приладу ННК, розроблено багатокомпонентний прилад ННК + ГГК + ГК.

3. На основі об'єктно-адаптаційної методології розроблено принципи інтерпретаційно-методичного забезпечення комплексу ННК + ГГК + ГК при дослідженні природних і техногенних ґрунтів у зоні аерації та в зоні, що знаходиться нижче рівня ґрунтових вод.

4. Значно розширено сукупність визначуваних параметрів, збільшено інформативність радіоізотопного каротажу, підвищено достовірність і точність визначень інженерно-геологічних параметрів: густини породи, густини сухої породи і твердої фази, вологості, пористості, коефіцієнта глинистості, вмісту хімічно зв'язаної води, коефіцієнта водонасиченості та інших параметрів.

5. Розроблення основних положень нової технології є тільки першим етапом; наступним повинно бути створення малої серії комплексних приладів радіоізотопного каротажу та, з урахуванням особливостей цих приладів та досліджуваних об'єктів, їх метрологічного, інтерпре-

таційно-методичного і програмного забезпечення. Подальшою задачею є трансфер технології у виробничі організації, які займаються інженерно-геологічними дослідженнями ґрунтів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Ферронский В.И., Грязнов Т.А.* Пенетрационный каротаж. — М.: Недра, 1979. — 335 с.
2. *ГОСТ 23061-90.* Грунты: методы радиоизотопных измерений плотности и влажности. Госстрой СССР, М., 1990. ДСТУ Б В.2.1-26:2009. Грунты. Методы радиоизотопного вимірювання щільності і вологост. Мінірегіонбуд України, К., 2010.
3. *Влагомер* поверхностно-глубинный радиоизотопный ВПГР-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Полтава, 1982. — 43 с.
4. *Плотномер* поверхностно-глубинный радиоизотопный ППГР-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Полтава, 1986. — 60 с.
5. *Звольский С.Т.* Гамма-методы измерения объемной массы дисперсных грунтов и донных отложений. — М.: Атомиздат, 1980. — 112 с.
6. *Дейнеко С.И.* Системный мониторинг за станом небезпечних геологічних процесів на території діючих енергетичних об'єктів (на прикладі Рівненської АЕС). Автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук. — Київ, 2007.
7. *Патент* України на корисну модель № 68819. Прилад радиоизотопного каротажа для приповерхневих досліджень / *Євстахевич З.М., Кулик В.В., Кетов А.Ю., Рогачин В.В.* Заявник і патентовласник ІГФ НАН України. Опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.
8. *Скважинная* ядерная геофизика. Справочник геофизика / Под ред. *О.Л. Кузнецова* и *А.Л. Поляченко*. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1990. — 318 с.
9. *Патент* України на корисну модель № 68901. Трикомпонентний зонд радиоизотопного каротажа для комплексного дослідження ґрунтів / *Кулик В.В., Дейнеко С.И., Євстахевич З.М., Кетов А.Ю., Бондаренко М.С.* Заявник і патентовласник ІГФ НАН України. Опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.
10. *ГОСТ 5180-84.* Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Госстрой СССР, М., 1990. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Грунты. Методы лабораторного визначення фізичних властивостей. — К., 2010.
11. *Бондаренко М.С., Кармазенько В.В., Кашуба Г.О., Кулик В.В.* Определение пористости глинистых пород в обсаженных нефтегазовых скважинах с помощью радиоактивного и акустического каротажа // *Геофиз. журн.* — 2010. — Т. 32, № 2. — С. 110—120.
12. *Звольский С.Т., Кетов А.Ю., Кулик В.В. и др.* Скважинные ядерно-геофизические исследования приповерхностных горных пород. 1 // *Геофиз. журн.* — 2010. — Т. 32, № 6. — С. 215—230.
13. *Патент* України на корисну модель № 66364. Спосіб визначення вологості піщано-глинистих ґрунтів у зоні аерації на основі нейтрон-нейтронного каротажа / *Бондаренко М.С., Кулик В.В.* Заявник і патентовласник ІГФ НАН України. Опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.
14. *Шерстюк Н.П., Власова И.А.* Воздействия горнодобывающей промышленности на природно-техногенные ландшафты и его элементы на примере СевГОКа (Кривбасс) // *Геолого-мінералогічний вісник.* — 1999. — № 2. — С. 78—80.
15. *Евтехов В.Д., Федорова И.А.* Топомінералогія отходообогачення бідних залізних руд Кривбасса як техногенного залізородного сиров'язь // *Геолого-мінералогічний вісник.* — 2001. — № 2. — С. 81—87.
16. *Губіна В.Г., Кадошніков В.М., Заборовський В.С. та ін.* Оцінка можливості використання відходів збагачення залізистих кварцитів в народному господарстві // *Зб-к наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища.* — 2009. — Вип. 17. — С. 79—92.
17. *Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.* Строительные материалы из отходов промышленности. — Ростов-на-Дону, 2007.
18. *Пушкарьова К.К., Гоц В.І., Павлюк В.В. та ін.* Використання паливних зол України для отримання пуцоланових цементів // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» / Серія «Теорія і практика будівництва».* — 2009. — № 655. — С. 230—235.

*В.В. Кулик, М.С. Бондаренко,  
А.Ю. Кетов, З.Н. Евстахевич, С.И. Дейнеко,  
О.В. Камилова*

#### ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА РАДИОИЗОТОПНОГО КАРОТАЖА

Разработаны принципиальные положения новой технологии исследования приповерхностных природных и техногенных горных пород (грунтов) на основе аппаратно-методического комплекса радиоизотопного каротажа. Предложена объектно-адаптационная методология определения параметров природных и техногенных грунтов, включающая критерии согласованности и достоверности определений. Установлена способность предложенных решений значительно повысить продуктивность, информативность и точность скважинных исследований природных и техногенных грунтов.

*Ключевые слова:* каротажная технология, аппаратно-методический комплекс, радиоизотопный каротаж, природные и техногенные грунты, петрофизические, инженерно-геологические, техногенные параметры.

V.V. Kulyk, M.S. Bondarenko,  
A.Yu. Ketov, Z.M. Evstakhevych, S.I. Deineko,  
O.V. Kamilova

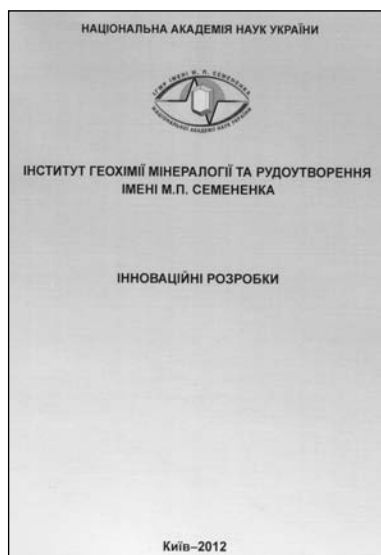
MAIN PRINCIPLES OF THE NEW TECHNOLOGY  
OF NATURAL AND TECHNOGENIC NEAR-SURFACE  
ROCKS INVESTIGATION ON THE BASE  
OF RADIOACTIVITY LOGGING COMPLEX

The main principles of the new technology of investigation of natural and technogenic near-surface rocks on the basis of new apparatus and method complex of radioactivity logging have been developed. The object-adaptive methodology for

determining the parameters of natural and technogenic rocks, which includes the criteria of agreement and reliability of determinations, have been proposed. The ability of the proposed approaches to improve significantly productivity, informativity and accuracy of borehole investigation of natural and technogenic near-surface rocks have been established.

*Key words:* logging technology; apparatus and method complex; radioactivity logging; natural and technogenic near-surface rocks; petrophysical parameters, engineering geology parameters, technogenic parameters.

Стаття надійшла до редакції 20.03.12



**ІННОВАЦІЙНІ РОЗРОБКИ  
ІНСТИТУТУ ГЕОХІМІЇ МІНЕРАЛОГІЇ  
ТА РУДОУТВОРЕННЯ імені М.П. СЕМЕНЕНКА  
НАН УКРАЇНИ**

Інститутом геохімії мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України в 2012 році було підготовлено і видано довідник «Інноваційні розробки». В довіднику подаються відомості про наукові розробки та інноваційну діяльність Інституту геохімії мінералогії та рудоутворення. Представлено широкий діапазон наукових розробок, що стосуються: організації пошукових робіт, складання геологічних та геофізичних карт і розрізів, гірничо-видобувних робіт, комплексів заходів по екологічній і технічній безпеці, використання рідкісних та рідкісноземельних елементів у приладобудуванні. Новітні теорії безперечно зацікавлять всіх, хто бачить можливість поєднання своєї діяльності з вивченням і використанням земних надр.

Довідник пропонується широкому колу фахівців відповідних галузей народного господарства, підприємцям, потенційним інвесторам, а також викладачам і студентам вищих навчальних закладів.

Відповідальний редактор довідника — член-кореспондент НАН України О.М. Пономаренко.