

УДК 550.832.5

М. Бондаренко, канд. геол. наук, В. Кулик, канд. фіз.-мат. наук,
А. Кетов, мол. наук. співроб.,
С. Дейнеко, канд. геол. наук, С. Іващенко, асп.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОГЕННИХ І ПРИРОДНИХ ҐРУНТІВ КОМПЛЕКСОМ РАДІОІЗОТОПНОГО КАРОТАЖУ (НА ПРИКЛАДІ ЗОЛОВІДВАЛІВ ТРИПІЛЬСЬКОЇ ТЕС)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мін. наук, проф. В.М. Курганським)

Визначено розширену сукупність інженерно-геологічних і петрофізичних параметрів ґрунтів на території золовідвалу Трипільської теплової електричної станції (ТЕС) на основі об'єктно-адаптивної методики комплексування методів радіоізотопного каротажу (РК). Показана висока інформативність комплексу методів РК при дослідженні техногенних ґрунтів – золовідвалів ТЕС.

The expanded set of engineering geology and petrophysical parameters of soils in territory of ash dump of Trypillian heat power station on the basis of an object-adaptive procedure of radioisotope loggings methods (RL) complexation is determined. It is shown high informativity of complex of RL-methods at technogenic soils investigations – ash dumps of heat power station.

Постановка задачі. В Україні значна частка електроенергії виробляється на теплових електричних станціях (ТЕС). На сучасних ТЕС вугілля спалюють у подрібненому (пилоподібному) стані при температурі 1200–1700 °С. Такий спосіб спалювання дає 80–90 % відходів у вигляді золи, що виноситься з димовими газами [1]. Зола уловлюється і накопичується в спеціальних бункерах, звідки її за допомогою системи гідровидалення транспортують у золовідвали.

Золовідвали ТЕС становлять серйозну екологічну проблему, оскільки вимагають відведення значних територій, які стають непридатними для господарської чи іншої діяльності, є накопичувачами важких металів, радіоактивних елементів. Негативний екологічний вплив золовідвалів на довкілля виникає із-за розпорошення золи вітром, фільтрації води крізь стінки і дно золовідвалів, а також в результаті передбачених технологією скидів освітлених вод [5]. З часом, можливо, ці відвали необхідно буде прибрати, утилізувавши цінні

елементи, мінерали та інші корисні компоненти [1, 5]. У зв'язку з цим існує необхідність вивчення складу і властивостей зольних мас.

На даному етапі через обмеженість площ, відведених для золовідвалів, виникла необхідність нарощування їх вертикальної потужності. Це вимагає оцінки інженерно-геологічних параметрів золовідвалів та природного ґрунту, який служить їх основою. Для розв'язання цих задач може бути використаний комплекс методів радіоізотопного каротажу (РК): нейтрон-нейтронний каротаж (ННК), густинний гамма-гамма-каротаж (ГГК), інтегральний гамма-каротаж природної радіоактивності (ГК).

Нами виконано дослідження золовідвалів і природних ґрунтів комплексом РК на основі приладів ВПГР і ППГР на території Трипільської ТЕС (ТТЕС).

Зола ТЕС. Золи різних ТЕС містять: SiO₂ (37–63 %), Al₂O₃ (9–37 %), Fe₂O₃ + FeO (4–17 %), CaO (1–32 %), MgO (0,1–5 %), SO₃ (0,05–2,5 %), Na₂O+K₂O (0,5–5 %). Втрати при прожарюванні (в.п.п.), що характеризують

вміст в золі частинок вуглецю С, становлять 1–30 %. Для золи є характерним вміст значної кількості частинок з дрібними закритими порами, що утворилися внаслідок спучування розплавленої мінеральної маси газами, які виділяються при дегідратації глинистих мінералів, дисоціації вапняку, гіпсу і органічних речовин. Пористість таких частинок може досягати 60 %. Густина

насипної золи лежить в інтервалі $0,6 \div 1,0 \text{ г/см}^3$, густина твердих частинок золи – $1,8 \div 2,4 \text{ г/см}^3$ [1].

Хімічний та мінеральний склад золи гідровидалення Трипільської ТЕС був визначений [4] за допомогою хімічного та рентгенофазового методів. Результати, доповнені нами даними по густині компонентів, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Склад [4] і густина компонентів золи Трипільської ТЕС

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	в.п.п.	Σ
Вміст, % мас.	48,2	0,89	19,65	4,50	3,15	1,36	2,18	1,04	2,78	0,11	16,02	99,88
Густина, г/см ³	2,65	4,24	3,40	5,2	5,7	3,58	3,37	2,27	2,32	1,92	1,2–1,4	2,80–2,83

За результатами наших лабораторних визначень, виконаних згідно [2], густина твердих частинок золи ТТЕС дорівнює $2,37 \text{ г/см}^3$. Звідси закрита пористість в частинках золи, що утворилась при спалюванні пилоподібної суміші в топках, становить ~15–20 %.

Методика інтерпретації даних РК та критерії достовірності. Широко вживана у виробничій практиці методика в ряді випадків призводить до значних систематичних похибок і обмежень при визначенні інженерно-геологічних та петрофізичних параметрів ґрунтів. В зв'язку з цим нами розроблена вдосконалена методика визначення параметрів ґрунтів за даними комплексу РК [3], яка передбачає врахування особливостей досліджуваного об'єкта та пристосування інтерпретаційно-методичного і метрологічного забезпечення до цих особливостей (наприклад, використання різних градувальних залежностей ННК в зоні аерації і в зоні повного водонасичення (ЗПВ), врахування зв'язаної води в глинах при визначенні вологості і т.п.). Таку методику можна назвати об'єктно-адаптаційною методикою (ОАМ).

Критерієм достовірності і точності параметрів ґрунтів, визначених за допомогою геофізичних свердловинних методів, є результати незалежних (в першу чергу, лабораторних) вимірювань. 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, поряд з незалежними вимірюваннями, необхідно мати додаткові критерії.

Таким критерієм може бути взаємна узгодженість сукупності параметрів, отриманих за допомогою комплексу методів РК. Ми запропонували наступні критерії узгодженості параметрів ґрунтів:

1) в зоні повного водонасичення вологості, 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 в частинках золи); 3) коефіцієнт водонасиченості за РК в зоні аерації завжди менший 1, а в зоні повного водонасичення – (приблизно) рівний 1; інтервали, в яких коефіцієнт водонасиченості виходить істотно більшим 1, потребують додаткових досліджень; 4) густина твердої фази за РК (для зони повного водонасичення) повинна узгоджуватись з апріорними даними.

Якісне і кількісне визначення параметрів техногенних і природних ґрунтів комплексом РК

1) Використання ГК:

– характеризує літологічні властивості свердловинного розрізу в природних ґрунтах, зокрема, глинистість породи;

– визначення коефіцієнта глинистості (згідно з методикою, приведеною в [3]);

– розрізнення техногенного і природного інтервалів розрізу;

– визначення параметрів ґрунтів у комплексі з ННК і ГГК.

2) Використання ГГК:

– визначення густини породи як в зоні аерації, так і в зоні водонасичення;

– визначення густини сухої породи (разом з ННК і ГК) як в зоні аерації, так і в зоні водонасичення;

– визначення густини твердої фази (разом з ННК і ГК) в зоні водонасичення;

– визначення вологості і пористості в зоні водонасичення;

– визначення пористості як в зоні аерації, так і в зоні водонасичення (разом з ННК і ГК);

– якісне визначення зони аерації за розходженням діаграми фіктивної вологості (в зоні неповного насичення) за ГГК і діаграми вологості за ННК+ГК;

– якісне і кількісне визначення закритої пустої пористості твердих частинок золи нижче рівня ґрунтових вод (разом з НК і ГК);

– якісне визначення зони повного водонасичення 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 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 і діаграми фіктивної вологості (в зоні неповного насичення) за ГГК;

– якісне і кількісне визначення закритої пустої пористості твердих частинок золи нижче рівня ґрунтових вод (разом з ГГК і ГК).

– якісне визначення ЗПВ по збіжності вологості за ННК+ГК і вологості за ГГК.

Параметри ґрунтів у зоні золовідвалів ТТЕС.

Результати інтерпретації комплексу РК за ОАМ на прикладі трьох свердловин представлені на рис. 1 – 3.

У св. 1 (рис. 1) за даними ГК (крива 1) виділяється техногенний (до ~ 9 м) і природний (глибше 9 м) інтервали розрізу; радіоактивність зольних мас до ~ 10 разів вища радіоактивності природних ґрунтів. Останні представлені торфом (~ 10–12,5 м), який характеризується низькою густиною (до ~ $1,2 \text{ г/см}^3$) та високими пористістю і вологістю (до ~ 90 %), і неглинистим кварцовим піском (~12,5–15 м). На глибині ~9,5 м проходить межа зони неповного водонасичення (позірна вологість за ГГК і вологість за РК розходяться) і зони повного водонасичення (зазначені вологості близькі). Зона неповного водонасичення у свою чергу розділяється на зону аерації (до ~ 4 м), де вологості за ГГК і за РК максимально розходяться, і зону недонасичення (~ 4–9,5 м), пов'язану з наявністю закритих пустих пор в твердих частинках золи. Величина цієї пористості складає за каротажними даними ~ 10–20 %, що відповідає лабораторним визначен-

ням. За каротажними даними густина твердої фази піску становить $\sim 2,65 \text{ г/см}^3$, торфу $\sim 1,5\text{--}2 \text{ г/см}^3$, коефіцієнт водонасиченості в ЗПВ складає $\sim 100 \%$.

У св. 2 (рис. 2) техногенний ґрунт залягає до глибини $\sim 7 \text{ м}$. Природний ґрунт (глибше 7 м) представлений заторфованим ґрунтом ($\sim 7\text{--}8 \text{ м}$ і $\sim 9,5\text{--}10,5 \text{ м}$) і неглинистим кварцовим піском. Межа зони неповного і повного водонасичення проходить на глибині $\sim 8 \text{ м}$. Зона неповного водонасичення у свою чергу розділяється на зону аерації (до $\sim 4,5 \text{ м}$), де вологості за ГГК і за РК максимально розходяться, і зону недонасичення ($\sim 4\text{--}$

8 м), пов'язану з закритою пористістю частинок золи ($\sim 10\text{--}20 \%$). За каротажними даними густина твердої фази піску складає $\sim 2,7 \text{ г/см}^3$, заторфованого ґрунту $\sim 2,0 \text{ г/см}^3$, коефіцієнт водонасиченості в ЗПВ біля 100% .

У св. 3 (рис. 3) техногенний ґрунт відсутній, літологічно розріз однорідний і представлений слабглинистим кварцовим піском. На глибині $\sim 3,5 \text{ м}$ проходить межа зони аерації і зони повного водонасичення. Густина твердої фази піску складає $\sim 2,65 \text{ г/см}^3$, коефіцієнт водонасиченості в ЗПВ $\sim 100 \%$.

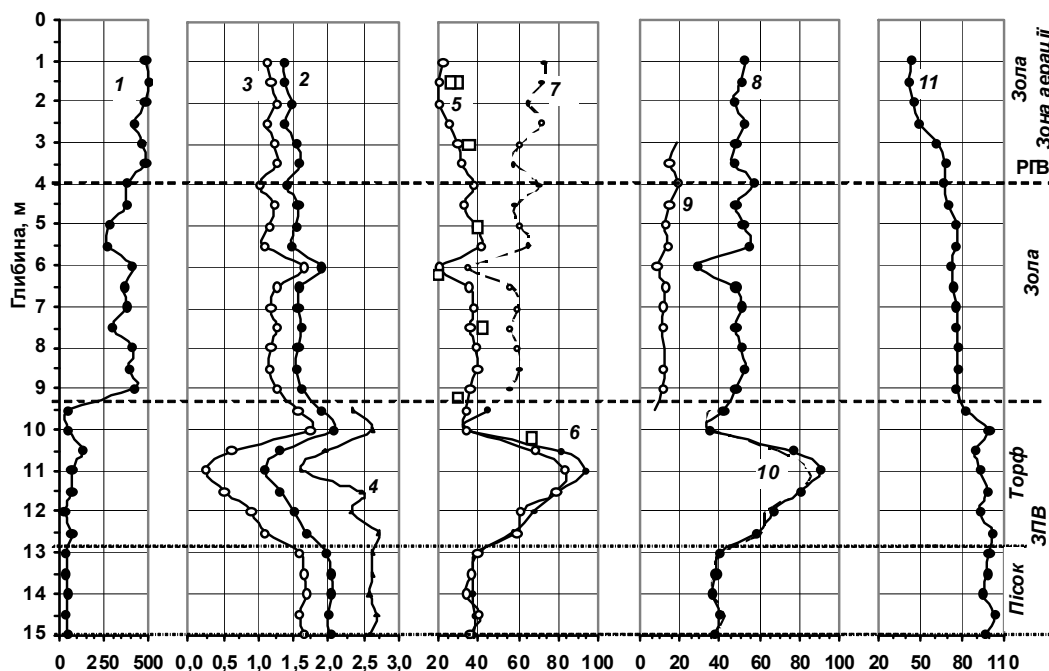


Рис. 1. Результати дослідження розрізу свердловини № 1 золівідвалу Трипільської ТЕС

Шифр кривих: 1 – природна радіоактивність за ГГК, 2 – густина ґрунту за ГГК, 3 – густина сухого ґрунту за РК, 4 – густина твердої фази ґрунту за РК, 5 – вологість ґрунту за ННК + ГГК, 6 – вологість ґрунту за ГГК в зоні повного водонасичення (ЗПВ), 7 – позірна вологість ґрунту за ГГК, 8 – пористість ґрунту за РК, 9 – пористість твердих частинок золи за РК, 10 – пористість за ННК+ГГК, 11 – коефіцієнт водонасиченості за РК

РГВ – рівень ґрунтових вод за даними прямих спостережень, □ – лабораторні дані, РК $\equiv$ ННК + ГГК + ГГК

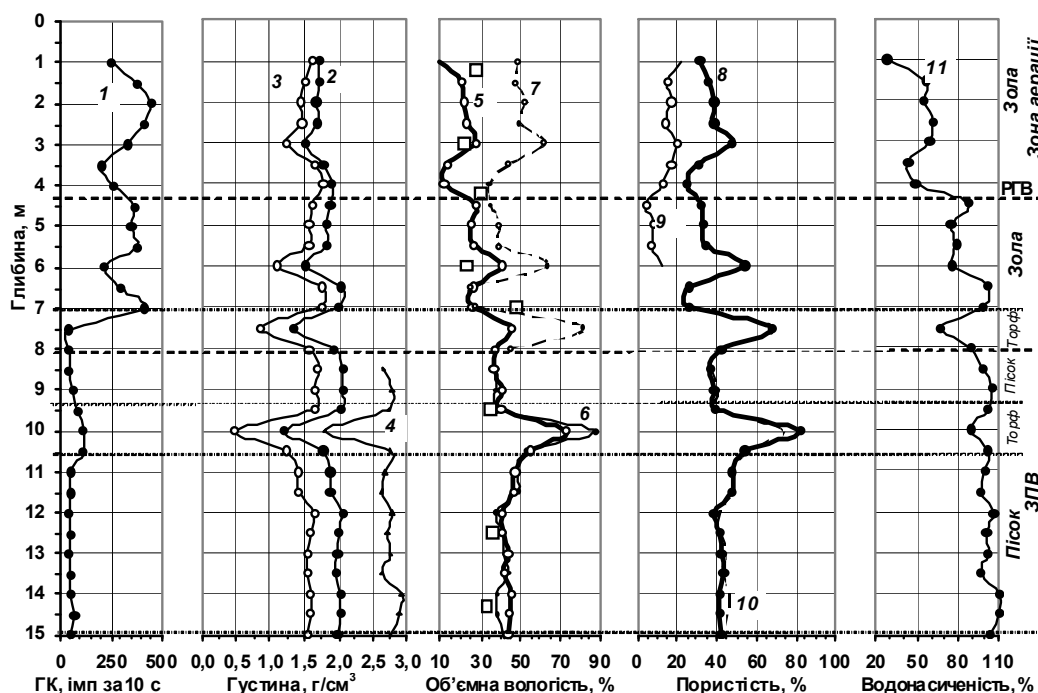


Рис. 2. Результати дослідження розрізу свердловини № 2 золівідвалу Трипільської ТЕС

Позначення див. рис. 1

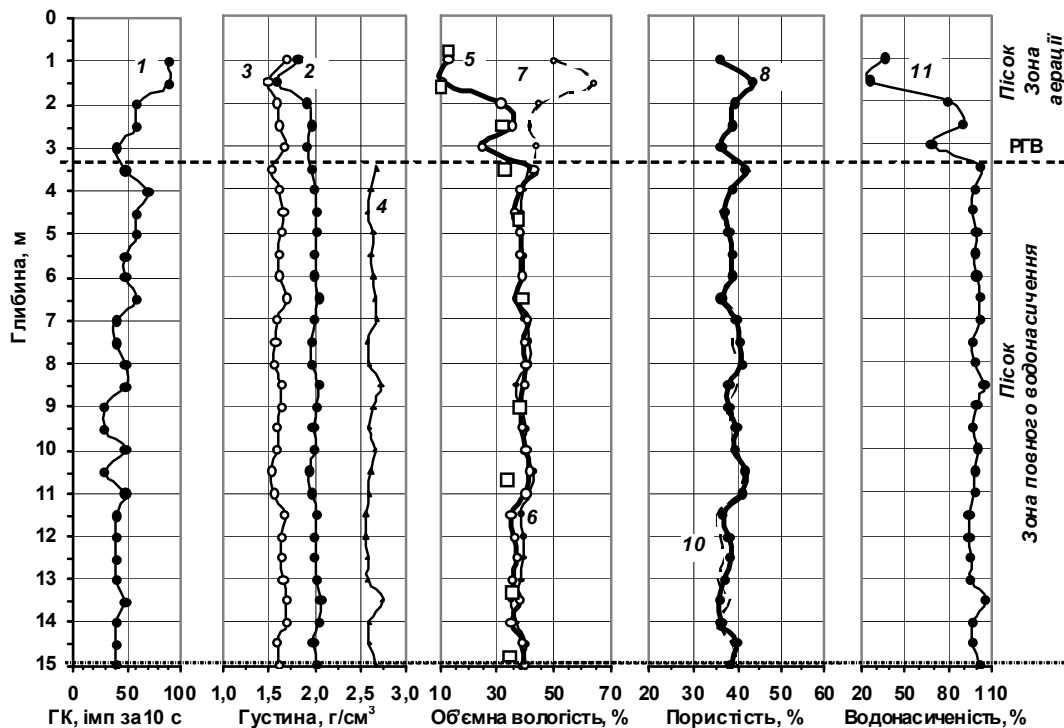


Рис. 3. Результати дослідження розрізу свердловини № 3 золовідвалу Трипільської ТЕС
Позначення див. рис. 1

Висновки. Отримані результати РК дозволяють: 1) виділити за ГК зольні маси, для яких характерна значно підвищена радіоактивність; 2) отримати розширену сукупність параметрів, які характеризують інженерно-геологічні та петрофізичні властивості розрізу; 3) якісно розділити ЗПВ і неповного водонасичення; 3) зону неповного водонасичення в золі розділити на зону аерації і зону недонасичення, пов'язану з наявністю закритих пор в твердих частинках золи; 4) виділити пласти торфу.

Каротажні визначення вологості за РК добре узгоджені з лабораторними її значеннями, оцінка межі зони аерації і повного водонасичення узгоджена з даними прямих спостережень за рівнем ґрунтових вод (див. рис. 1–3).

Для всіх розглянутих свердловин розширена сукупність параметрів, визначена за об'єктно-адаптаційною методикою, відповідає критеріям узгодженості визначених параметрів (а саме, в ЗПВ густина твердої фази піску і торфу близька до відповідних апріорних даних,

коефіцієнт водонасиченості близький до 100 %, вологості за РК і за ГК близькі).

В цілому, виконані роботи показали високу інформативність комплексу методів РК при дослідженні техногенних ґрунтів – золовідвалів ТЕС.

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. – Ростов-на-Дону, 2007.
2. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. – К., 2010.
3. Звольский С. Т., Кетов А.Ю., Кулик В.В., Бондаренко М.С., Дейнеко С.И., Иващенко С.А., Камилова О.В., Евстафевич З.Н. Скважинные ядерно-геофизические исследования приповерхностных горных пород. 1 // Геофиз. журн. – 2010. – т. 32, № 6. – С. 215 – 230.
4. 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.
5. Умбетова Ш.М. Техногенные отходы предприятий энергетики и пути их вторичной переработки // Вестник Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева. – 2009. – № 4 (<http://vestnik.kazntu.kz/?q=ru/node/189>).

Надійшла до редколегії 20.10.11