

**С.А. Дешиця, О.І. Підвірний, О.І. Романюк,  
Ю.В. Садовий, В.В. Коляденко, Л.Г. Савків, Ю.С. Мицишин**

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України,  
вул. Наукова, 3Б, Львів, 79060, Україна, тел./факс: +38 (032) 264-85-63, [carp@cb-igph.lviv.ua](mailto:carp@cb-igph.lviv.ua)

## ОЦІНКА СТАНУ ЕКОЛОГІЧНО ПРОБЛЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ КАЛУСЬКОГО ГІРНИЧО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ МЕТОДАМИ ТА ЇХ МОНІТОРИНГ



*Екологічно небезпечні геологічні процеси, що виникають на відпрацьованих родовищах калійної та кам'яної солі, створюють суттєві реальні загрози для навколишнього середовища. Для виявлення, вивчення та своєчасного попередження таких процесів (карст, суфозія, зсуви) створено і апробовано апаратурно-програмний комплекс індукційних малоглибинних зондувань геологічного середовища у ближній зоні джерела поля. Розроблено мультипроцесорну систему керування, збору та передачі користувачам отриманих даних для аналізу та оперативної геологічної інтерпретації.*

*Ключові слова:* геосередовище, негативний процес, екологія, електромагнітне поле, зондування, оцінка стану, прогнозування.

Екологічно небезпечні геологічні процеси, зумовлені техногенними і природними чинниками, що виникають на відпрацьованих родовищах калійної та кам'яної солі, розвиваються у геологічному середовищі переважно на глибинах до 100–200 м. На початковій стадії розвитку негативних процесів (карстових, фільтраційно-суфозійних, зсувних тощо), коли зниження міцності структурних зв'язків та деформації ґрунту ще не відчутні і не реєструються прямими (п'єзометричними) методами, у зародкових потенційно небезпечних областях геологічного середовища вже відбуваються істотні зміни його електричних характеристик, зокрема зростає електропровідність цих областей внаслідок збільшення проникнення та насичення середовища мінералізованими водами. Такі аномалії електропровідності є основ-

ними пошуковими об'єктами електромагнітних (ЕМ) методів при обстеженні екологічно проблемних територій з метою оцінки їх стану, виявлення та вивчення небезпечних геологічних процесів для своєчасного застосування запобіжних заходів.

У геолого-геофізичних комплексах для виявлення і моніторингу екологічно небезпечних явищ широко використовуються та вдосконалюються методи постійного струму. Вони здебільшого базуються на стандартній апаратурі, геометричних зондуваннях геосередовища електричними установками [1, 2] різних розмірів та періодичних вимірюваннях позірною опорю ( $\rho_k$ ) і його змін з часом на потенційно небезпечних ділянках. Можливості класичних методів постійного струму (ВЕЗ, ДЕЗ, ЕП), як відомо, суттєво обмежуються через наявність високоомних ізолюючих горизонтів, що перекривають досліджувану товщу, а також через невисоку локальність геометричних зондувань. Останнє

зумовлює бокові впливи латеральних неоднорідностей, оскільки підповерхнева частина геологічних розрізів є найбільш неоднорідною. Перспективи використання постійних (квазістаціонарних) полів контрольованих джерел визначаються новими підходами до розв'язку подібних завдань, зокрема такими, що базуються на засадах електрорезистивної томографії [3]. Разом з тим вимірювальні системи постійного струму у комплексуванні з модифікаціями електромагнітних методів [4], як і природні імпульсні електромагнітні поля [5, 6, 7], можуть успішно залучатись для вивчення динаміки небезпечних процесів, з розвитком яких змінюється позірний опір, зростають механічні напруження, інтенсивність імпульсних випромінювань та електрична анізотропія середовища.

Високу локальність та роздільчу здатність мають георадарні системи [8, 9]. Їх принцип дії ґрунтується на розчленуванні геологічного середовища з різним опором та проникністю по відбитих високочастотних електромагнітних сигналах. За сприятливих умов над високоомними середовищами (сухі ґрунти, вічна мерзлота, масиви кристалічної солі і т.п.) глибинність зондування кращими георадарами може сягати 20–30 м і більше, однак в умовах зволужених глин і суглинків максимальна глибина зондувань внаслідок зростання електропровідності середовища не перевищує 6–10 м. При високій мінералізації зволожуючої рідкої фази їх застосування стає неможливим.

На сьогодні одним з найбільш інформативних та ефективних методів для детальних досліджень структури і електричних властивостей геологічного середовища, за якими оцінюється його стан, виявляються екологічно небезпечні процеси та визначається їх динаміка, є метод (ЗСБ) – високочастотного електромагнітного зондування, зокрема зондування становлення поля у ближній зоні первинного джерела. Цей метод був запропонований у 70-х роках минулого століття [10, 11]. З часом для зондування малих глибин було розроблено апаратуру,

яка базується на високочастотних модифікаціях цього методу: «Імпульс-авто» (СНІИГТи МС), «ЕЛЕКТРОТЕСТ-ТЕМ» (НТК «Діоген»), «Пірс» (ФМІ НАНУ), «NanoTEM» (Zonge). Новітніші розробки, зокрема апаратура «FastSnap» (фірми СибГеоСиситеми), побудовані за модульним принципом з використанням GPS-систем і забезпечують можливість синхронних кущових вимірювань за допомогою набору автономних блоків.

На сьогодні є значний позитивний досвід використання згаданих розробок у розв'язанні практичних, переважно інженерно-геологічних та екологічних задач, який підтверджує високу геологічну інформативність та ефективність методу електромагнітних зондувань. Наявні розробки орієнтовані здебільшого на вирішення обмеженого кола виробничих завдань і є частинами апаратурно-програмних комплексів окремих фірм. Останнє, а також ряд інших чинників (специфічні формати запису даних, закриті програми обробки та управління вимірами, велика вартість постачання та обслуговування) суттєво ускладнюють їх використання для створення нових технологічних засобів, придатних для застосування в неординарних ситуаціях. Найчастіше такі ситуації виникають в умовах промислово-міських агломерацій на відпрацьованих родовищах, коли випромінювання електричних завод силовими лініями, впливи на виміри інженерних конструкцій і комунікацій є надзвичайно високими.

#### **ГЕОЕЛЕКТРИЧНІ УМОВИ ТА ВИМОГИ ДО ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

Для вирішення актуальних інженерно-геологічних та екологічних задач стосовно оцінки стану та моніторингу геологічного середовища важливо забезпечити, крім високих заводостійкості і локальності вимірювань мультифункціональність системи, її придатність до організації електромагнітного моніторингу проблемних об'єктів у комплексі геолого-геофізичних методів. Програмно-технічний комплекс має забезпечувати діагностування середовища у

широкому діапазоні глибин, експрес-обробку, аналіз та інтерпретацію отриманих даних, їх автоматичну передачу по комунікаційних каналах на сервер базової організації, що значно підвищить продуктивність та результативність досліджень

До найбільш складних і потенційно небезпечних об'єктів Калуського гірничо-промислового району належать шахтні поля рудників, де карстопровальні явища можуть супроводжуватися забрудненням підземних вод та річкового басейну. Крім того, негативних процесів (фільтраційних, карстових) можуть зазнати усі горизонти покривної товщі, а також видобувні камери на відроблених горизонтах.

Узагальнена геоелектрична модель верхньої частини розрізу є нескладною, відповідає тришаровому розрізу ( $\rho_{1 \geq \rho_{2 \leq \rho_3}$ , де  $\rho_1 - \rho_3$  – питомі опори), який представлений зверху гальково-суглинковими відкладами потужністю 10–20 м з електричним опором 30–40 Ом·м. Нижче залягають низькоомні (0,6–5 Ом·м) алювіальні утворення глинисто-гіпсової шапки потужністю 10–50 м, насичені розсолами, що циркулюють над високоомними (>200 Ом·м) корінними соленосними відкладами. Останні представлені калійною і галітовою породами, соленосною брекчією.

Ситуація ускладнюється при розуцільненнях покривної товщі. Такі області проявляються як локальні або протяжні геоелектричні неоднорідності над відробленими і заповненими розсолами камерами. З часом це призводить до втрат стійкості покривних порід над гірничими виробками, утворення провальних воронок та раптового просідання земної поверхні. Початок розвитку таких процесів переважно зумовлює ослаблена стелина та розуцільнені ділянки водозахисної товщі над видобувними камерами. З часом обвалення порід поширюється до верху, причому до розвитку фільтраційно-карстових процесів можуть залучатись інші, раніше неактивні, локальні та протяжні структурно-речовинні неоднорідності глинисто-гіпсової шапки, а також відклади водонос-

ного горизонту, що призводить до масштабних екологічних проблем та значних матеріальних збитків. Позатим технологічно передбачене просідання поверхні і утворення мульд над шахтними полями при перевищенні планових норм стає надзвичайно потужним джерелом забруднення водоносного горизонту високомінералізованими водами, витісненими з камер. На сьогодні, як відомо, ореоли забруднення підземних вод найбільше спричинені кар'єрними відвалами та хвостосховищами, суттєву загрозу створюють фільтраційно-суфозійні процеси на бортах кар'єру та у тілі земляних дамб хвостосховищ.

Електромагнітні зондування верхньої частини георозрізу, починаючи з перших метрів і до згаданих вище глибин, пов'язані з низкою специфічних технічних проблем, зумовлених головним чином великою швидкістю затухання у геосередовищі нестационарного процесу при широкому динамічному діапазоні (понад 80 дБ) рівнів сигналу індукованого поля  $E(t) = \partial B_z / \partial t$  ( $B_z$  – вертикальний компонент потоку магнітної індукції через вимірювальний контур ( $q$ ) установки «контур у контурі» –  $Q * q$ ). Величина нормованих струмом сигналів наведеного поля  $E(t)/I_Q$  ( $I_Q$  – імпульсний струм в генераторному контурі) на пізній стадії має порядок  $10^{-5}$  В/А, тоді як початкові значення можуть перевищувати 1 В/А. Часовий робочий інтервал вимірювання сигналів становлення поля визначається необхідною глибиною зондування. На початку при зондуванні відносно малих глибин (до 5–10 м) кінцевий час ( $t_k$ ) вимірювання сигналу  $E(t)$  не перевищує 100 мкс і зростає в квадратичній залежності із збільшенням глибини.

Інформативній, не спотвореній внутрішніми перехідними процесами установки, частині кривої  $E(t)$  відповідає часовий інтервал ( $t_k - t_n$ ), де  $t_n$  – початковий час вимірювання, орієнтовно на два порядки менший від кінцевого:  $t_k / t_n \cong 100$ . Зондуванням у всьому визначеному технічним завданням діапазоні глибин (до 100–200 м) відповідає часовий інтервал  $10^{-7} \div 10^{-2}$  с і необ-

хідна частотна смуга ( $100 \div 10$  МГц) вимірювального каналу, близька до частотного діапазону георадарних систем. Це вимагає високої швидкодії і точності синхронізації аналогових та цифрових вузлів при широкому амплітудному динамічному діапазоні вимірюваних сигналів наведеного поля.

### АПАРАТУРНИЙ КОМПЛЕКС

Розроблена електророзвідувальна апаратура (Контур-1) побудована за модульним принципом. Структурну схему комплексу показано на рис. 1, а. Комплекс складається з генераторної (модуль генератора, контур  $Q$ ) та вимірювальної (контур  $q$ , вхідний модуль, модуль вимірювання та індикації) частин, програмно керованих цифровими вузлами системи. Необхідні швидкодію та завадостійкість головним чином забезпечують розроблені раніше технічні рішення з фізичного моделювання нестаціонарних електромагнітних процесів на електролітичних моделях [12], що вимагало подібної і більш високої швидкодії пристроїв.

Модуль керування (master) має найвищий ієрархічний пріоритет у системі. Він задає режими роботи пристрою в діалоговому режимі з меню, забезпечує програмне керування синхронізатором, який формує всі опорні і тактові сигнали, необхідні для збудження та вимірювання нестаціонарного поля, організовує взаємодію модулів нижчого рівня між собою та системою вищого рівня ієрархії, зокрема з персональним комп'ютером через відповідний інтерфейс. За допомогою підсистеми реєстрації модуль забезпечує запис одержаних даних в енергонезалежну пам'ять у процесі польових спостережень. Для надійної ідентифікації отриманої інформації застосовано файлову систему запису, коли кожна дискретизована крива зондування (один цикл вимірів) записується у файл разом з етикеткою, де фіксуються параметри зондування.

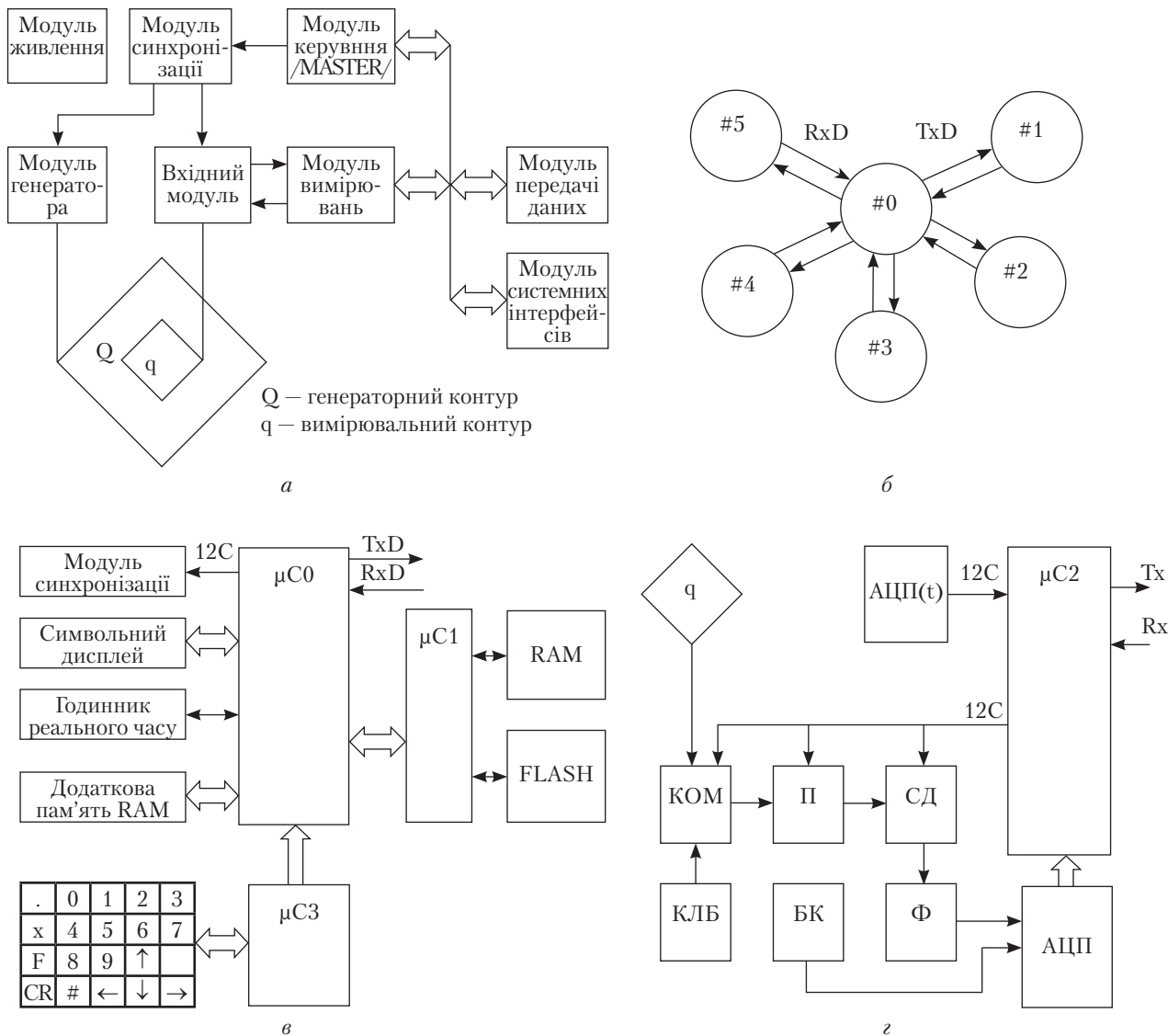
Керування побудованим за мостовою схемою генератором збуджуючого імпульсного поля здійснюється через оптичні елементи, що забезпечують розв'язок його електричної схеми

у всьому робочому діапазоні частот. Структура вимірювальної частини показана на рис. 1, з. Алгоритм завадостійкого вимірювання широкосмугових сигналів індукованого у геологічному середовищі поля забезпечує низка послідовно виконуваних блоками вимірювального модуля операцій:

- ✦ кодування вхідних сигналів за рівнем в дискретні моменти часу, відраховані від початку процесу становлення;
- ✦ перетворення частотного спектру вхідних і звуження частотного спектру кодованих сигналів;
- ✦ синхронна фільтрація вимірювальних сигналів;
- ✦ приглушення комутаційних шумів і наявної на вході постійної і повільно змінної напруги (поляризаційні процеси);
- ✦ когерентне детектування вимірюваних сигналів і вилучення побічних продуктів детектування [13].

Основні метрологічні характеристики вимірювального модуля представлені нижче.

Вимірювана фізична величина	Спадаюча з часом напруга становлення поля, що зумовлена зміною потоку магнітної індукції через вертикальний вимірювальний контур ( $\partial B_z / \partial t$ )
Максимальний часовий вимірювальний діапазон	Від $10^{-7}$ с до $10^{-3}$ с з мінімальним кроком 0,1 мкс у всьому діапазоні і похибкою встановлення моменту вимірювання $\pm 0,01$ мкс
Амплітудний діапазон вимірювань	Від $10^{-5}$ до 10 В
Основна відносна похибка вимірювання напруги експоненціальної форми	$\delta_0 = \pm [5 + 0,1(U_{\max} / U_x - 1)] \%$ , де $U_{\max}$ – верхнє значення під діапазону ( $B$ ), $U_x$ – виміряне значення, включаючи похибку, зумовлену тривалістю вибірки
Додаткова похибка вимірювань при зміні температури оточуючого середовища в діапазоні від $-5$ до $+40$ °С	Не перевищує половини основної похибки на кожні 10 °С
Нормативний документ, до якого встановлює вимоги до вимірювань	Акти тестових перевірок на стандартних моделях



**Рис. 1.** Схема електророзвідувальної апаратури: *a* – загальна структура; *б* – граф системи (RxD і TxD – лінії послідовного інтерфейсу), *в* – структура керуючого модуля, *з* – структурна схема модуля вимірювання (*q* – вимірювальний контур, КОМ – вхідний комутатор, КЛБ – калібрувальний блок, П – перетворювач вхідних сигналів, БК – блок контролю, АЦП(*t*) – температурний модуль, СД – синхронний детектор, Ф – вихідний фільтр,  $\mu C2$  – мікроконтролер вимірювача, АЦП – аналого-цифровий перетворювач вимірювача)

Мультифункціональна цифрова система апаратурного комплексу побудована на основі слабо пов'язаних між собою функціональних модулів, що не мають спільних ресурсів, оскільки між модулями системи відбувається тільки інформаційний обмін даними. Для цього було

використано мікроконтролери типу AT89S52, ATxmega з апаратною реалізацією асинхронної послідовної передачі даних (USART), що дозволило організувати взаємодію всіх модулів системи (дуплексні зв'язки), використовуючи лінії комунікаційних портів. Граф такої

мультимікросистемної конфігурації показано на рис. 1, б, де керуючий пристрій позначений цифрою 0, а підлеглі — цифрами 1, 2, 3, 4 та 5. Останні визначають необхідну кількість комунікаційних інтерфейсів типу USART керуючого мікроконтролера — головного активного елемента всієї системи (застосовано ATmega256A3 фірми Atmel [14]). Структурну схему модуля керування, побудованого на його базі, показано на рис. 1, в. Важливою складовою модуля керування є допоміжна оперативна пам'ять (RAM), призначена для накопичення та зберігання даних, а також формування кадру вимірів, який записується в енергонезалежну пам'ять типу FLASH [15] та передається в центр обробки даних через канали GSM-операторів.

З метою оцінки якості зареєстрованого матеріалу і можливого коректування конфігурації та параметрів вимірювальної системи передбачено проведення попередньої обробки та експрес-аналізу даних зондування. Сформовані операційною системою файли, що містять дані з відповідними їм метаданими, у своєму внутрішньому представленні мають розширення \*.log і зберігаються у директорії [Log]. Взірець вихідного файлу цифрової апаратури показано на рис. 2, а (див. кольорову вклейку), підкреслені позиції метаданих відповідають параметрам, які були використані при формуванні вхідних файлів програмної обробки. Для трансформацій та експрес-аналізу даних обрано пакет програм «Зонд», розроблений Сейфулліним Р.С. та Мамонтовим В.І. (УкрДГРІ, м. Львів, 1994), а робочим середовищем для розробки програм зчитування і формування пакету вхідних файлів — систему візуального об'єктно-орієнтованого програмування Delphi, що надає максимум функцій для роботи з файловою системою і забезпечує потужний інструментарій для проектування, розробки і програмування зручного інтерфейсу користувача.

Для розрахунку електричних параметрів середовища програмою «Зонд» всі вхідні значення зчитуються з окремих файлів директорії [Dat], причому names і times характеризують відповід-

но назву файлу і часові затримки моментів виміру неусталеного поля, тоді як файли з розширенням \*.dat відповідають значенням вимірюваного сигналу у фіксовані моменти затримки. Для коректного формування згаданих файлів (times, names, \*.dat), розробленим алгоритмом передбачено виконання низки операцій:

1) виконується пошук файлів \*.log у директорії [Log]. Із знайденого файлу зчитуються метадані, а перед тим створюється директорія для їх зберігання [Dat];

2) формується файл times, шкала часів розраховується з кроком дискретизації Tdsk та здійснюється його запис у [Dat] (рис. 2, б);

3) виконується перебір всіх файлів \*.log у [Log] і для кожного знайденого;

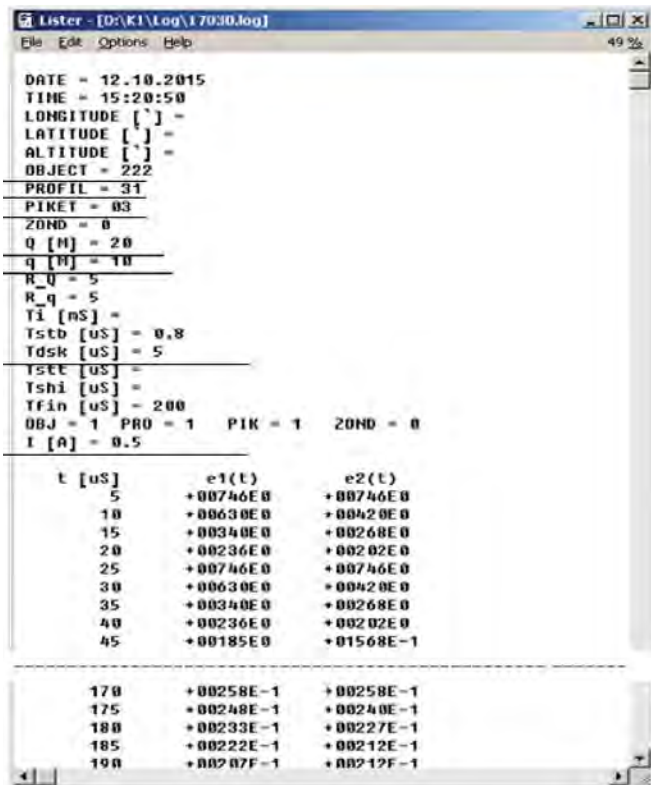
✦ зчитуються значення сигналу  $e(t)$  та нормуються за струмом  $e(t) = e(t)/I$ , де  $I$  — струм збудження (струм у генераторному контурі (A));

✦ формується файл \*.dat та виконується його запис у [Dat], ім'я файлу \*.dat — 3—4 символи кодують номер пікету з імені файлу \*.log (pk.dat), (рис. 2, в);

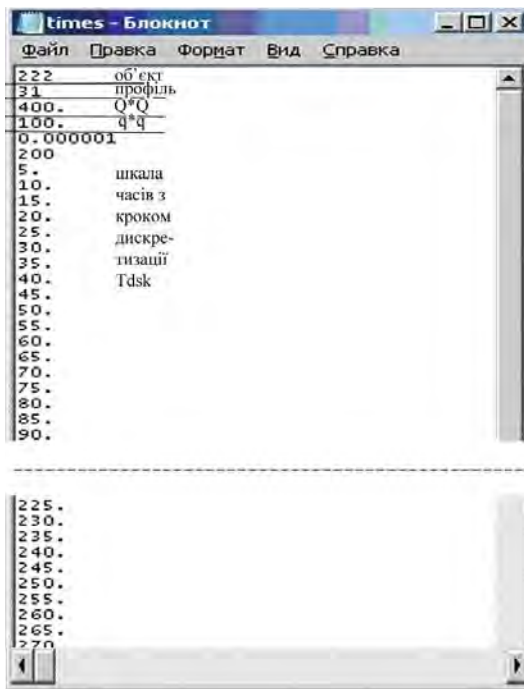
4) виконується перебір всіх файлів \*.dat у [Dat] і зі знайдених імен цих файлів у порядку зростання формується їх список — файл names, та виконується його запис у [Dat], (рис. 2, г).

Результат виконання програми попередньої обробки — пакет файлів (рис. 2, б, в, г) з вхідними даними для розрахунку електричних параметрів середовища програмою «Зонд».

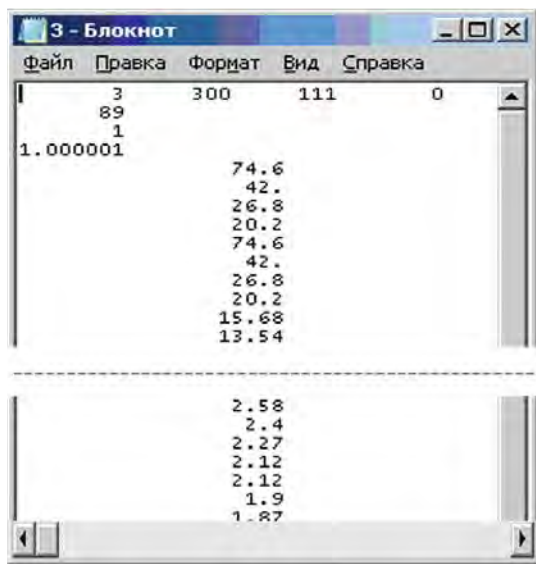
Передача основних даних, тобто файлу вимірів на окремому пікеті (рис. 2, а), в інтерпретаційний центр для внесення в базу даних [16] здійснюється за допомогою модуля GSM з вмонтованим TCP/IP стеком SIM900 фірми SimCom. Розроблений алгоритм передачі даних реалізує принцип «*один вимір — одна передача*». Це забезпечує максимальну оперативність, оскільки при виконанні польових вимірювань центр обробки даних має можливість неперервного контролю та коректування (оптимізації) режиму спостережень. Модуль GSM може використовуватися як у складі системи,



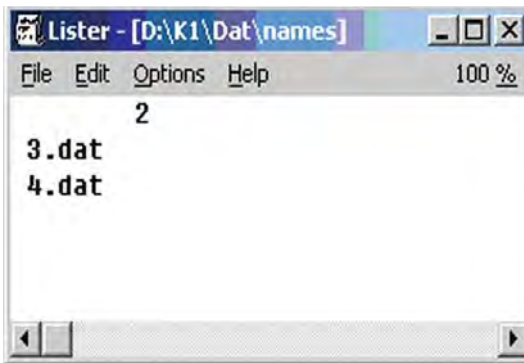
a



б



в



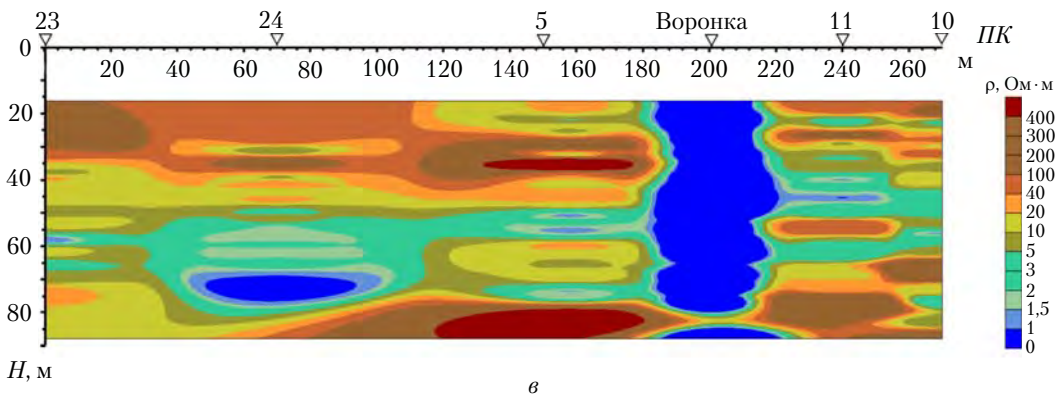
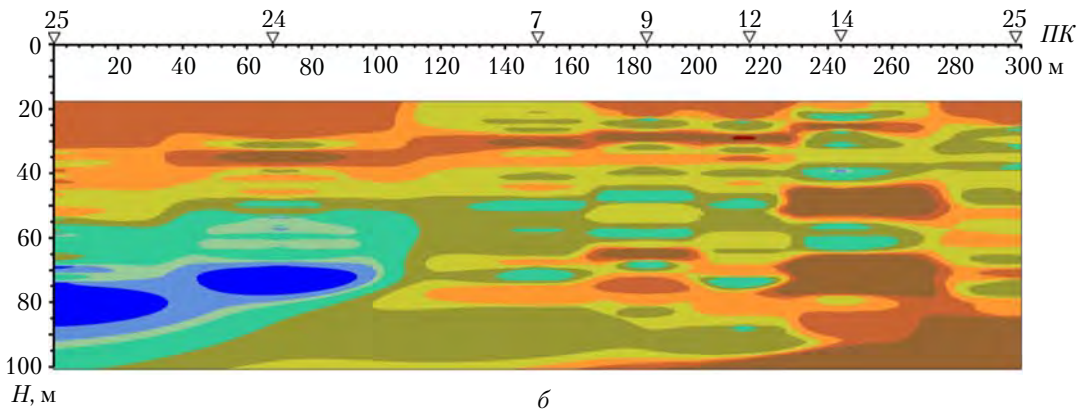
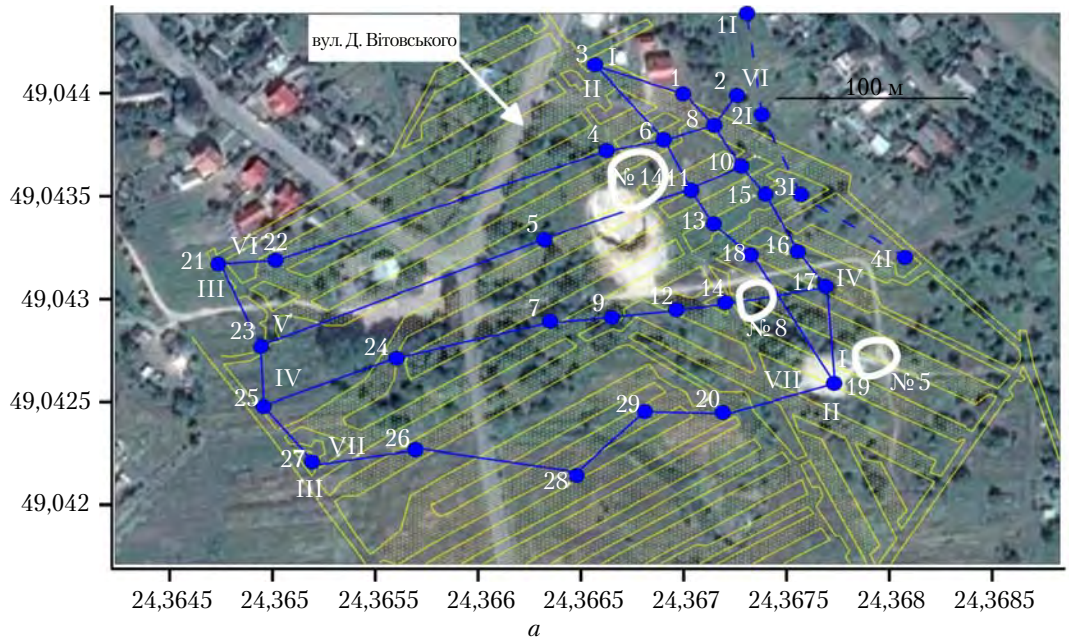
г

Рис. 2. Файли для проведення експрес-аналізу даних: а – структура вихідного файлу апаратури «Контур–1», б, в, г – пакет файлів з вхідними даними для програми розрахунку електричних параметрів середовища: times, \*.dat, names

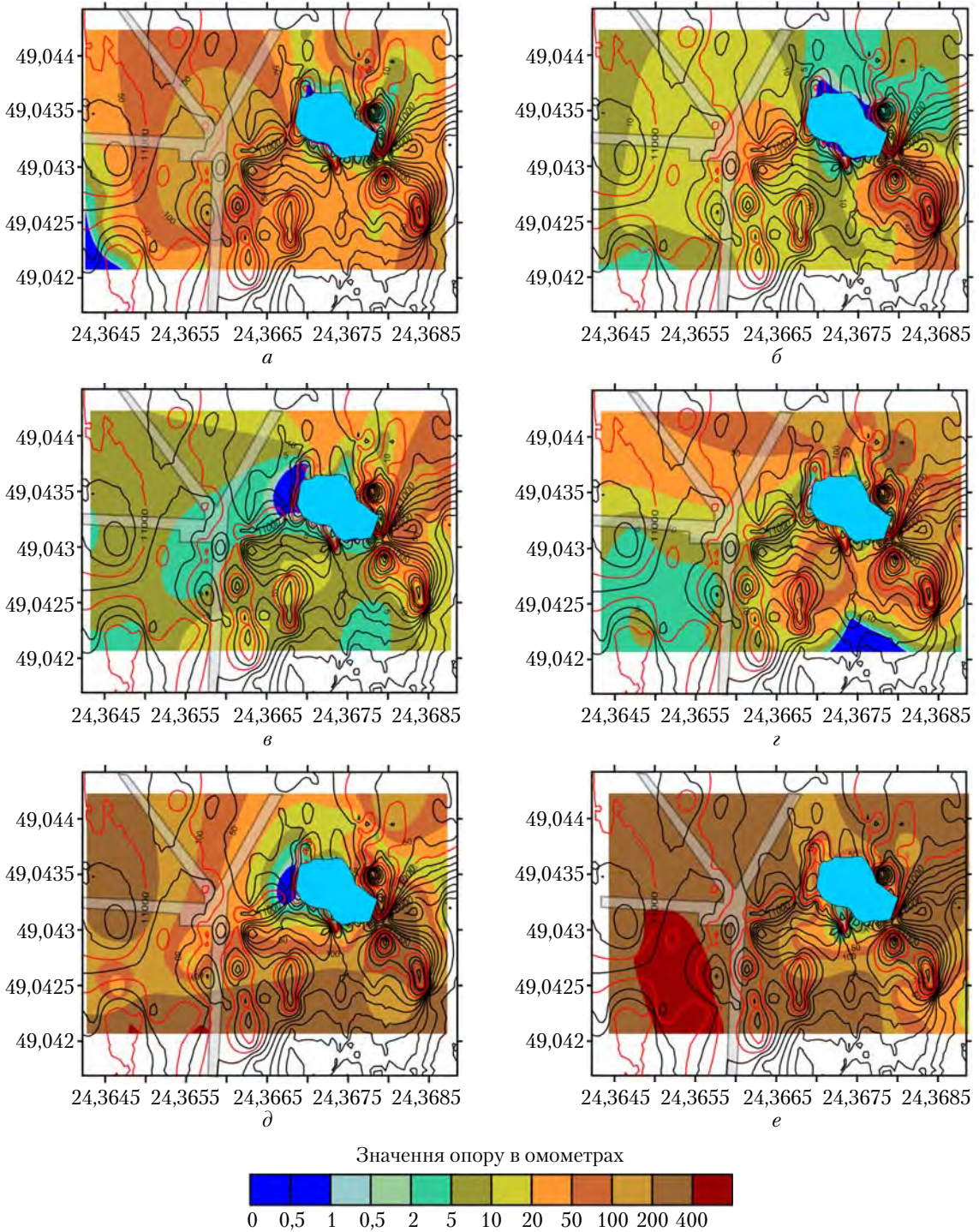


**Рис. 3.** Калущ-Голинське родовище. Рудники: I – «Калуш», II – «Нова Голинь», III – Домбровський кар'єр; шахтні поля: 1 – Північне каїнітове, 2 – Центральне каїнітове, 3 – Хотінське силівнітове, 4 – Східна Голинь, 5 – Сівка-Калущка; А – хвостосховища, Б – акумулюючі ємності, В – відвали кар'єру (за матеріалами статті [24])

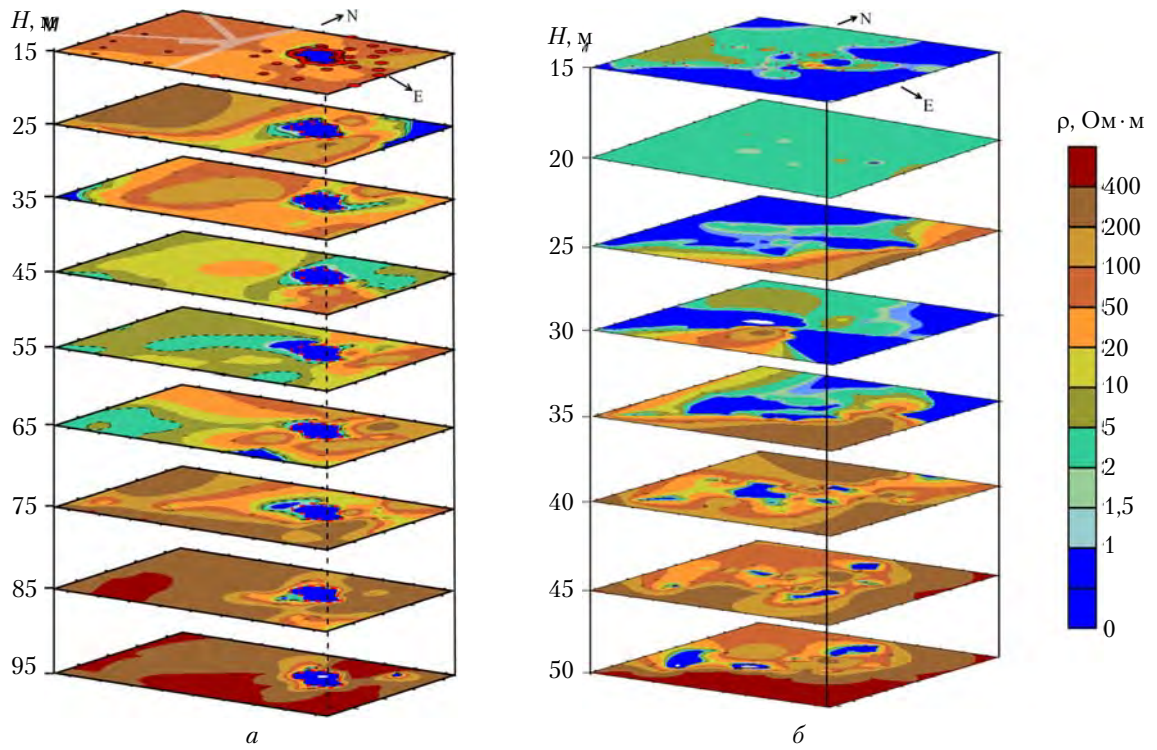




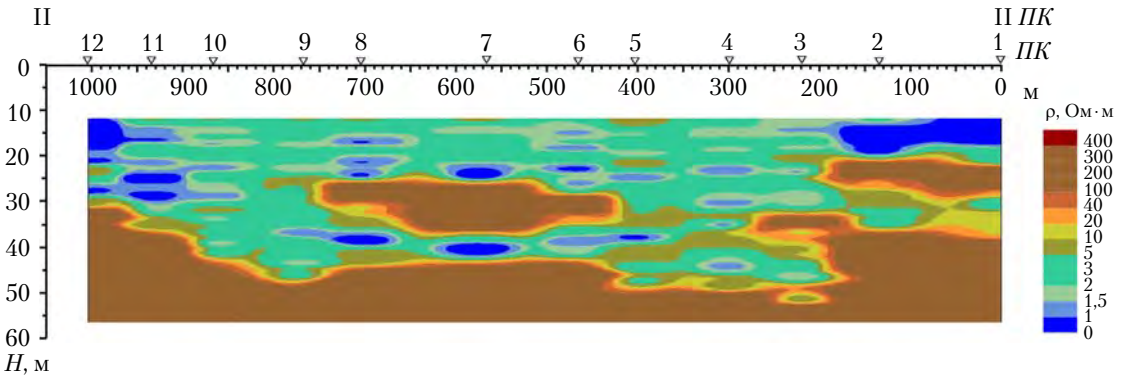
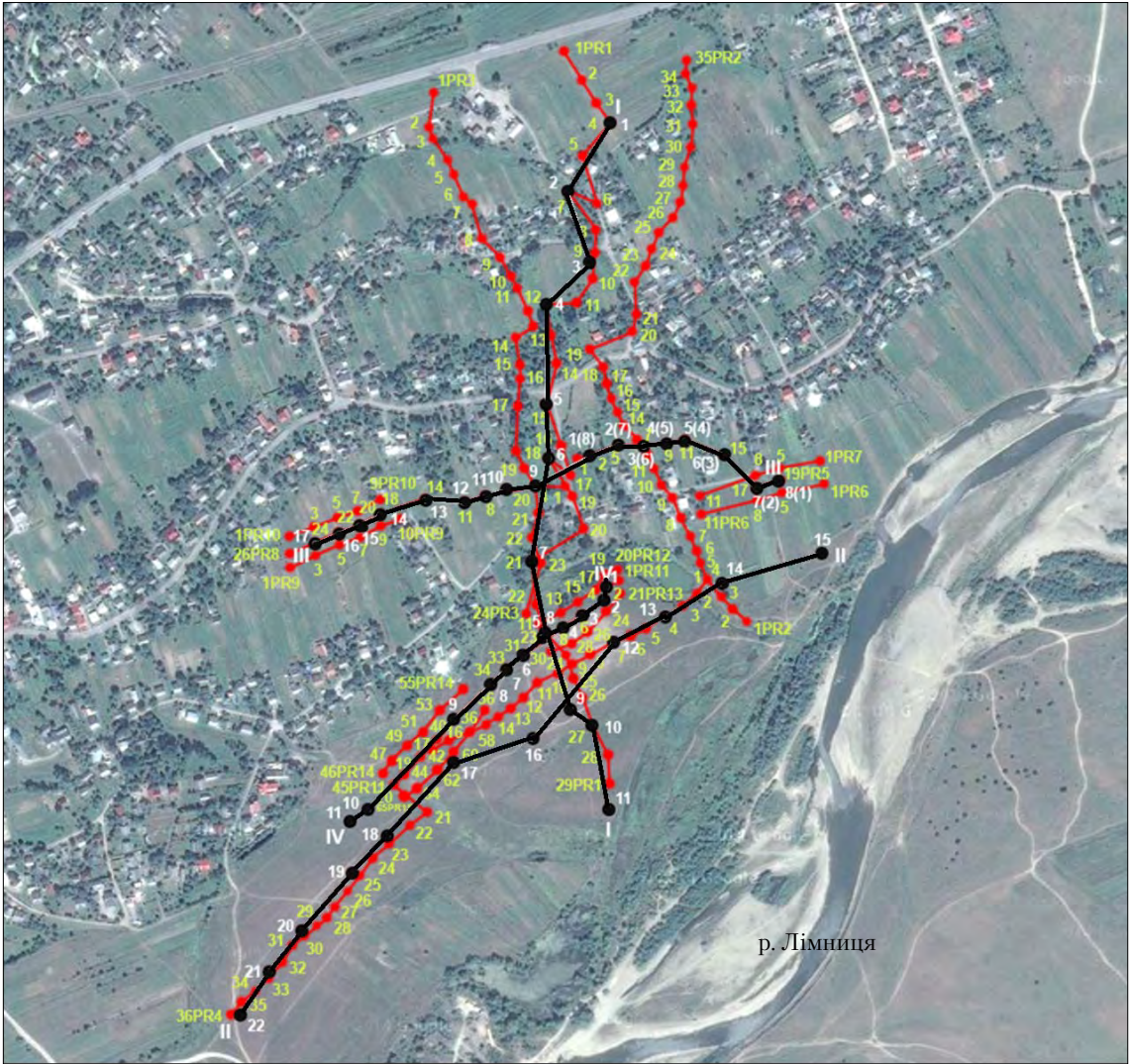
**Рис. 4.** Результати ЗСБ ділянки Північного карбонатного поля в районі карстового провалу (вул. Вітовського): *a* – розташування профілів I–I – VIII–VIII та підземних камер шатного поля, *б* – геоелектричний розріз вздовж профілю IV–IV, *в* – геоелектричний розріз вздовж профілю V–V, що пересікає провальну воронку



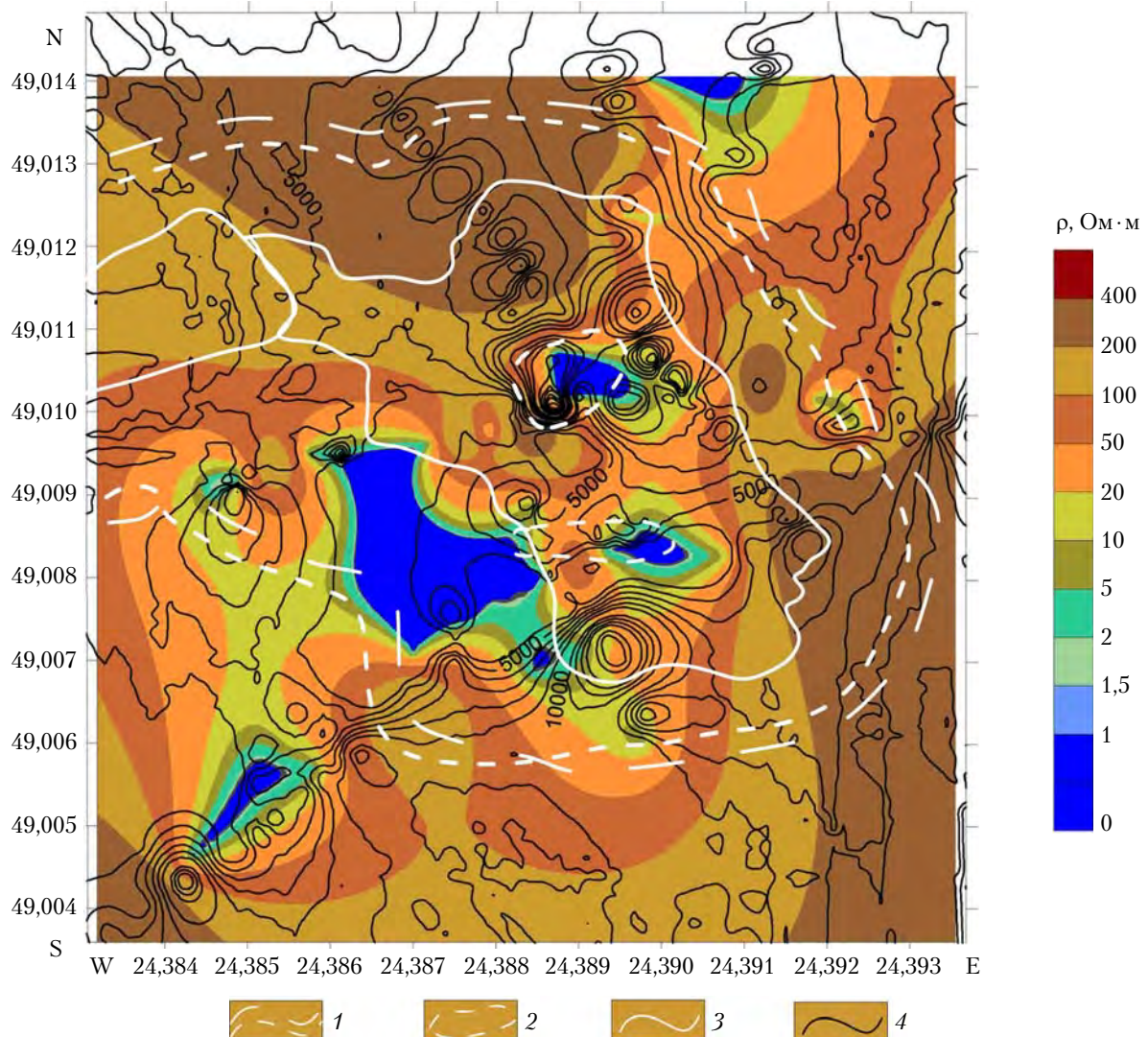
**Рис. 5.** Глибинні зрізи площинного розподілу питомого опору за даними ЗСБ та ізолінії інтенсивності ( $N_{\chi}/с$ ) сигналів ПЕМПЗ на денній поверхні, ізолінії червоного кольоіру відповідають значенням, більшим за 10 000



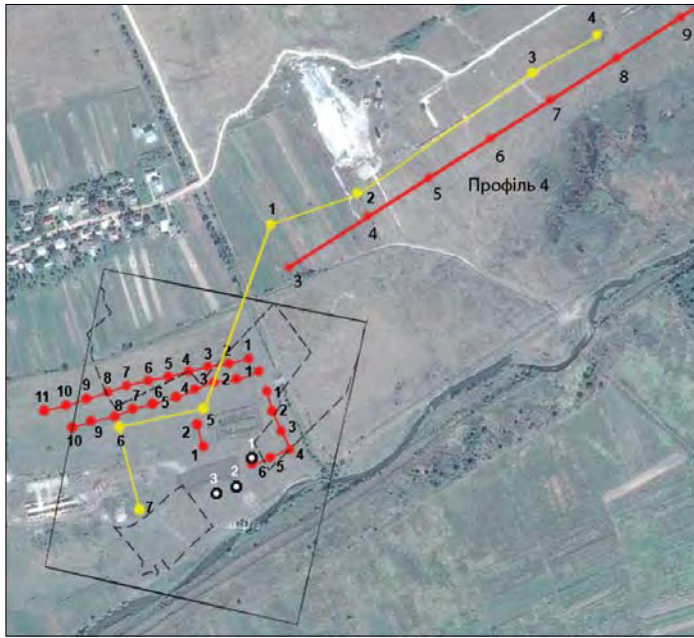
**Рис. 6.** Електричні моделі просторового розподілу питомого опору  $\rho$  (Омм) на обстежених ділянках Північного каїнітового та Хотінського сільвінітового полів;  $H$  – глибина в метр



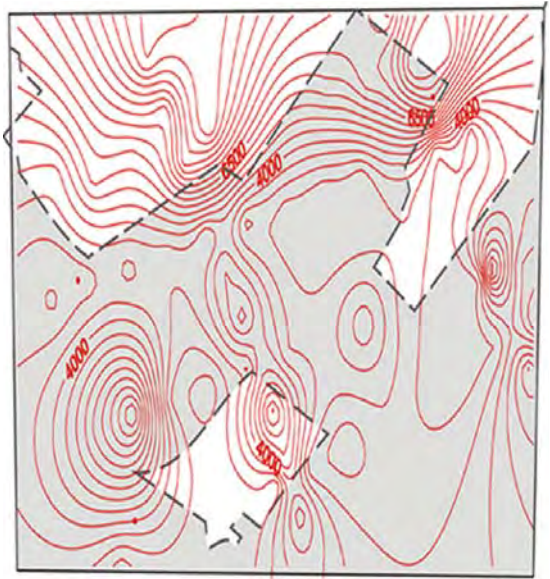
**Рис. 7.** Мережа профілів ЗСБ (I–I – IV–IV) та ШЕМПЗ на Хотінському сільвинітовому полі. Нижче – геоелектричний розріз вздовж поперечного профілю II–II



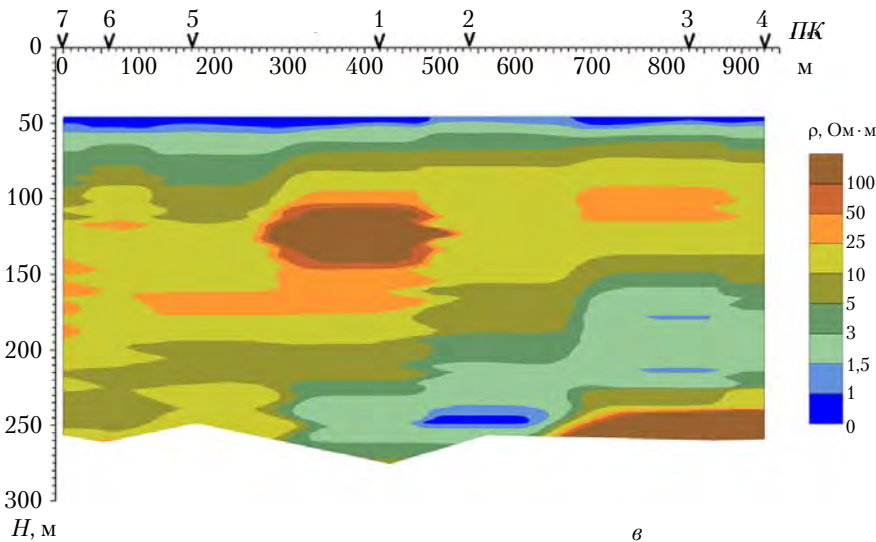
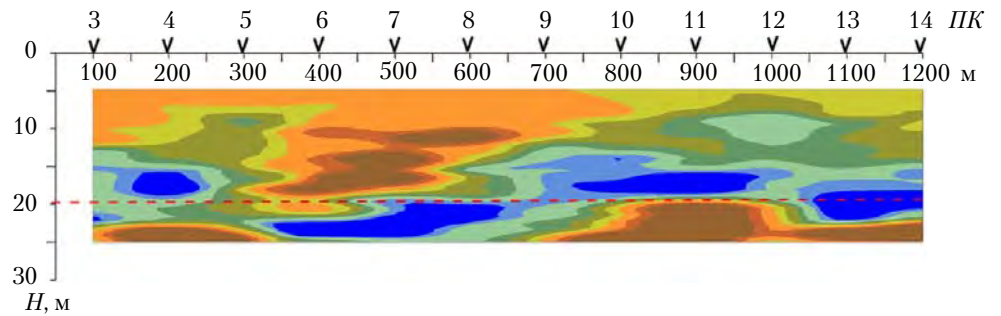
**Рис. 8.** Глибинний зріз площинного розподілу питомого опору на глибині 45 м у комплексі з розподілом ПІЕМПЗ та інженерно-геологічними даними: 1 – границі мульди за інженерно-геологічними визначеннями, 2 – області найбільшого просідання, 3 – границі шахтного поля, 4 – ізолінії розподілу вертикальної компоненти ПІЕМПЗ



*a*



*б*



*в*

**Рис. 9.** Результати обстеження ділянки шахтного поля Сівка-Калуська: *a* – глибинний та режимний (циклу 2015) профілі (штриховими лініями у прямокутнику позначено частину шахтного поля, над якою виконано вимірювання) (*б*) інтенсивності вертикальної компоненти ПЕМПЗ, *в* – режимний та глибинний геоелектричні розрізи

так і автономно, що дозволяє оперативно забезпечувати передачу даних від різноманітних пристроїв у польових умовах, причому застосована система передачі даних створює необхідні умови для виконання операцій з файлами первинних даних усього задіяного комплексу геофізичних методів, зокрема проводити автоматичну ідентифікацію отриманих даних за часовими, просторовими та електрофізичними характеристиками досліджуваної місцевості.

### АПРОБАЦІЯ КОМПЛЕКСУ

Експериментальні електромагнітні дослідження спрямовані на визначення змін електрофізичних параметрів геосередовища, виявлення індикаційних ознак та встановлення закономірностей просторово-часових варіацій електричного опору гірських порід під дією природних і техногенних факторів. Вирішення пов'язаних з цим завдань досягається застосуванням технології електромагнітного діагностування геосередовища і прогнозування екологічно небезпечних процесів, яка базується на імпульсних зондуваннях геологічних розрізів у ближній зоні джерела електромагнітного поля та комплексуванні натурних спостережень з іншими методами. На заходах виконання бюджетної та госпдогвірної тематики у минулі роки на окремих ділянках виділених локальних полігонів (північний борт Домбровського кар'єру та прилеглі до кар'єру ділянки [17], дамба хвостосховища № 2, ділянка між р. Сівкою та хвостосховищем № 1) розроблено і випробувано технологічні засоби виявлення та моніторингу екологічно небезпечних процесів [18, 19], зокрема картування ореолів забруднення підземних вод рідкими відходами калійного виробництва [20, 21], виявлення фільтраційних процесів у тілі земляних дамб, оцінка стану покрівлі над покладами солей електромагнітними методами [22, 23].

Найбільшу увагу при апробації розроблених апаратурно-методичних засобів приділено шахтним полям, де активізується просідання і провали земної поверхні. У потенційно небезпечній зоні знаходяться більше тисячі житлових бу-

динків міста та навколишніх сіл. З утворенням мульд у зонах просідання відбувається витіснення високомінералізованих розчинів із заповнених камер у єдиний на території району водонесний горизонт. Поряд з існуючими джерелами (відвали кар'єру, хвостосховища, кар'єрні води) це може з часом перетворитися в основний чинник забруднення території і, зокрема, басейну р. Лімниці. Комплексні спостереження методами зондування становленням поля у ближній зоні (ЗСБ) та природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) проведено на шахтних полях Калуського гірничо-промислового району (рис. 3, див. кольорову вклейку): Північному каїнітовому полі (1), Хотінському сільвінітовому полі (3) рудника «Калущ», Сівка-Калуському шахтному полі (5) рудника «Ново-Голинь». Обрані об'єкти суттєво відрізняються за геоелектричними умовами, що важливо для апробації комплексу.

### ПІВНІЧНЕ КАЇНІТОВЕ ПОЛЕ

Спостереження виконано на ділянці карстового провалу (район перехрестя вулиць Вітовського, Мостиської, Глібова) з метою оцінки електромагнітними методами стану середовища, виділення активних зон для проведення невідкладних природоохоронних робіт та блокування подальшого розвитку карсту в зоні провалу. Досліджувана ділянка Північного каїнітового поля перенасичена об'єктами, що проявляються на результатах зондування як геологічні завади (кабельні лінії та лінії мережі 50 Гц, залізобетонні та металеві конструкції) та штучні джерела електромагнітних завад (високовольтні лінії, силові установки, наводки 50 Гц). З урахуванням геоелектричних умов даної ділянки було визначено оптимальні з погляду мінімального впливу латеральних включень на результати зондувань розміри вимірювальних установок і пункти зондування. Тому спочатку визначалися придатні для спостережень пікети, в яких виконувались зондування, а формування профілів виконувалося пізніше при побудові геоелектричних розрізів.

За сіткою площинних електромагнітних зондувань досліджувану територію в районі провалу розбили на 8 основних профілів, орієнтованих у взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 4, *a*, див. кольорову вклейку), зондування 1–29 виконані установкою  $Q = (30 \times 30) \text{ м}^2$  і  $q = (20 \times 20) \text{ м}^2$ , зондування 11, 21, 31, 41, 51, 61 виконані установкою  $Q = (125 \times 125) \text{ м}^2$  і  $q = (60 \times 60) \text{ м}^2$ . Результати профільних вимірювань методами ЗСБ та ПЕМПЗ представлені у вигляді геоелектричних розрізів (рис. 4, *b, в*, див. кольорову вклейку), та у вигляді глибинних зрізів через кожні 10 м площинного розподілу питомого опору, починаючи з глибини 15 м і закінчуючи глибиною 95 м, з накладеними на них контурами розподілу інтенсивності ( $N_x/c$ ,  $N_z/c$ ) сигналів ПЕМПЗ (рис. 5, *a – e*, див. кольорову вклейку), а також у вигляді об'ємної електричної моделі обстеженої ділянки, побудованої за допомогою зрізів (рис. 6, *a*, див. кольорову вклейку). Зрізам *a – e* (рис. 5) площинного розподілу питомого опору відповідають глибини: *a* – 35, *b* – 45, *в* – 55, *г* – 65, *д* – 75, *e* – 85 м.

Наведені побудови за даними ЕМ-зондувань одержано в результаті попередньої обробки і трансформації часових залежностей вимірюваного на кожному пікеті нестационарного поля у питомий опір (електропровідність) середовища на різних глибинах. Просторовий розподіл питомого опору  $\rho$  об'єктивно відображає складну структуру та речовинний склад надсолевих відкладів.

Вимірювання і реєстрацію трьох компонент ( $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$ ) ПЕМПЗ на цій площі проведено автоматизованим пристроєм (РХІНДС-ПМ-05) за значно густішою, порівняно з ЕМ-зондуваннями, сіткою. Вимірювання інтенсивності сигналів ( $N/c$  – кількість імпульсів за секунду) горизонтальних ( $N_x$ ,  $N_y$ ) і вертикальної ( $N_z$ ) компонент здійснювалось у максимально широкій частотній смузі 2–50 кГц відповідно до технічних характеристик пристрою. У вигляді контурних ліній значення компонент нанесено на глибинні зрізи площинного розподілу питомого опору (рис. 5, *a–e*).

З наведених даних видно, що латерально видовжені аномально високі значення електропровідності з'являються біля провалу, починаючи з глибини 35 м. На більшій глибині (45 м) проявляється аномалія підвищеної провідності з північно-східного боку провалу і зникає на наступних глибинах, причому на південно-західному напрямі на глибині 55 м з'являється видовжена область підвищеної електропровідності, яка поширюється на більші глибини, не досягаючи максимальних. Тобто за даними ЗСБ розуцільнена область має видовжену форму обмеженої потужності, яка охоплює на північному сході відносно малі глибини (ймовірно, водоносний горизонт), переходить область провалу і поширюється у південно-західному напрямку, зміщуючись на нижчі гіпсометричні рівні. Аналізуючи одержані дані ЗСБ та аномалії ПЕМПЗ у сукупності з геологічною будовою та процесами, що відбуваються на цій території під впливом природних і техногенних факторів, слід зазначити таке:

- ✦ у східній частині ділянки нанесені на карту (рис. 4, *a*) камери шахтного поля та розташовані фактично вздовж однієї прямої лінії провальні воронки № 14, № 8, № 5 наглядно показують, що у минулому карстовий процес активно розвивався вздовж камер, причому воронки чітко фіксуються аномаліями ЗСБ та ПЕМПЗ;
- ✦ у західній частині підземні камери, заглиблюючись, мають інший (південно-західний) напрям, що співпадає з простяганням низькоомної (розуцільненої) виділеної ЗСБ зони, причому притаманні проявам карсту локальні аномалії відсутні (збільшення глибини залягання виділеної зони відбувається узгоджено з глибиною залягання відробленого покладу).

Найбільш небезпечні щодо активізації карстових процесів є обмежені області, наближені до провалу з півночі та північного сходу, що мають характерні ознаки карсту за даними застосованого технологічного комплексу. Виявлене розуцільнення покривної товщі цих



областей на малих глибинах очевидно пояснюється сприятливими властивостями її речовинно-фаціального складу. Ці умови зберігаються на більших глибинах південно-західної частини у напрямку виділеної ЗСБ аномальної зони.

### ХОТІНСЬКЕ СИЛЬВІНТОВЕ ПОЛЕ

Хотінське (від назви села) поле розташоване на півдні рудника «Калущ». Територія шахтного поля характеризується відносно малим рівнем геологічних (металеві конструкції, трубопроводи) та електромагнітних індустриальних завод. На відміну від Північного каїнітового та інших полів його консервація відбувалася без заповнення камер концентрованим розчином. Ступінь просідання поверхні цього поля є значною, останнім часом спостерігається підтоплення наближених до р. Лімниці територій, оскільки частина шахтного поля розташована під річкою.

Комплексними спостереженнями за геоелектричними характеристиками середовища, отриманими методами ЗСБ та площинним розподілом ПЕМПЗ, оцінено стан геологічного середовища в зоні утвореної мульди. Схема розміщення профілів і пікетів ЗСБ (чорні точки), а також пікетів ПЕМПЗ (жовті точки) показана на рис. 7 (див. кольорову вклейку). Нижче на цьому рисунку наведено один з геоелектричних розрізів, орієнтованих поперек довгої осі мульди, який разом з іншими відображає усі характерні високоомні та низькоомні елементи розрізу, підтверджуючи коректність проведених трансформацій поля.

За геоелектричними розрізами побудовано зрізи площинного розподілу питомого опору та об'ємну електричну модель середовища (рис. 6, б, див. кольорову вклейку) обстеженої ділянки. Глибинний зріз (45 м) площинного розподілу питомого опору з ізолініями ПЕМПЗ доповнено апріорними даними щодо границь мульди, шахтного поля, а також утворень, зумовлених деградацією геологічного середовища (рис. 8, див. кольорову вклейку).

Такі утворення існують у центральній частині мульди і однозначно фіксуються двома методами застосованого комплексу як аномалії, обумовлені глибинними чинниками, оскільки вони проявляються на усіх зрізах об'ємної електричної моделі та площинному розподілі ПЕМПЗ на поверхні.

### СІВКА-КАЛУСЬКЕ ШАХТНЕ ПОЛЕ

Частину території між хвостосховищем № 1 та р. Сівкою було обрано раніше як локальний полігон для опрацювання методики виявлення та вивчення динаміки ореолів забруднення підземних вод рідкими відходами калійного виробництва. Найбільшою мірою забруднення цієї ділянки зумовлене технологічними факторами (відомо, що при перевищенні допустимого рівня відходів у хвостосховищі їх скидали у р. Сівку). Також негативний вплив на водоносний горизонт можуть створювати концентровані розчини затоплених камер при формуванні мульди (просідання поверхні). Виконаними роботами досліджувалися ймовірні зв'язки водоносного горизонту з камерами шахтного поля, яке частково розміщується в межах локального полігону.

На рис. 9 (див. кольорову вклейку) показано план розташування профілів електромагнітного зондування магнітними установками з розмірами  $Q = (125 \times 125) \text{ м}^2$  і  $q = (60 \times 60) \text{ м}^2$  (жовтий колір) та  $Q = (30 \times 30) \text{ м}^2$  і  $q = (20 \times 20) \text{ м}^2$  (червоний колір). Результати зондувань установкою більших розмірів зіставлені з виконаним раніше циклом (4-й профіль локального полігону, 2015) спостережень показані на рис. 9, в. Позиції цих профілів, показані на рис. 9, а, співпадають з реальними, тобто показаними на плані. Як видно з наведених даних, на спільному інтервалі розрізи узгоджені. Зокрема, на ділянці глибинного розрізу між пікетами 2 і 3 у верхній частині геоелектричного розрізу спостерігається область підвищеного питомого опору, яка також відображається результатами малоглибинних зондувань, але виконаними зондуваннями на даному профілі зв'язків водо-

носного горизонту з розчинами підземних камер не була виявлена. Отримані дані будуть використані для подальшого моніторингу ореолів забруднення.

Вимірювання площинного розподілу ПЕМПЗ проведено на ділянці полігону, частково розташованій над шахтним полем (рис. 9, а), позначеній прямокутником. Область шахтного поля відмічена сірим кольором (рис. 9, б) Результати вимірювань вертикальної компоненти ( $N_z$ ) свідчать, що максимальні зміни та зростання її інтенсивності відбуваються на границях шахтного поля та поза ним. Менші рівні випромінювань над шахтним полем імовірно пояснюються шунтуючим впливом розчину високої мінералізації, що заповнює камери. Водночас на границях можна очікувати зростання механічних напружень і відповідно більших аномалій ПЕМПЗ та проявів анізотропії електричних властивостей середовища, що слід враховувати при організації моніторингу подібних об'єктів.

При порівнянні результатів комплексних спостережень на обраних об'єктах виявлено, що в усіх випадках електромагнітними зондуваннями упевнено виділяються охоплені карстовими процесами області, визначаються їх геометричні та геоелектричні характеристики. Кореляційні зв'язки даних ЗСБ з поверхневими аномаліями інтенсивності ПЕМПЗ мають певні особливості, які необхідно враховувати при інтерпретації. Найбільш чітко корелюють дані, одержані над наближеними до поверхні утвореннями (провальні воронки Північного каїнітового поля). До значно більших глибин спостерігається кореляція в умовах відносно високоомних розрізів та при відсутності завад (Хотінське сільвінітове поле). Однак відмічені вище (Сівка-Калуське поле) зміни інтенсивності випромінювань ПЕМПЗ над границями шахтного поля з заповненими насиченим розчином камерами створюють умови для додаткового контролю динамічних процесів у його крайовій частині поряд з проведенням електромагнітних зондувань.

## ВИСНОВКИ

Наведені результати комплексних спостережень на шахтних полях з суттєво різними геоелектричними умовами свідчать, що розроблені програмно-технічні засоби для зондування верхньої частини геологічних розрізів нестационарними електромагнітними полями у ближній зоні джерела первинного поля дозволяють виявляти і на кількісному рівні визначати геоелектричні та структурні особливості аномальних областей, а також їх динаміку, за якими оцінюється стан середовища та прогнозується розвиток негативних процесів.

Комплексні спостереження в режимі моніторингу забезпечують розроблені на сучасній технологічній базі апаратурно-програмні засоби, а також системи керування режимами вимірювань, збору та передачі (GPS- та GSM-технології) одержаних матеріалів до центру обробки даних. Створено алгоритми і пакети програм швидкої експрес-оцінки польових даних та інтерпретації матеріалів, отриманих у складних геолого-геофізичних умовах. Поряд з класичним застосуванням методів змінного та постійного струму у комплексі передбачено використання нетипових модифікацій електророзвідки залежно від розв'язуваних задач з вивчення структури або динаміки середовища.

Детальні площинні зондування (метод ЗСБ) проблемних об'єктів проведено у комплексі з вимірюваннями природного імпульсного електромагнітного поля Землі, що забезпечило підвищення геологічної інформативності та достовірність спостережень. За результатами апробації розроблених засобів на проблемних об'єктах Калуш-Голинського родовища отримано геоелектричні розрізи та побудовано електричні моделі обстежених територій, виділено ділянки напружено-деформованого стану в зонах інтенсивного розвитку карстових процесів. Отримані дані мають практичне значення, підтверджують високу геологічну інформативність комплексу та доцільність його включення в систему геолого-геофізичного моніторингу гірничо-промислових агломерацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хмелевской В., Шевнин В. Электрическое зондирование геологической среды. — М: Изд-во МГУ, Ч.1, 1988. — 176 с.
2. Хмелевской В., Шевнин В. Электрическое зондирование геологической среды. — М: Изд-во МГУ, Ч.2, 1992. — 200 с.
3. Stacey Robert W. Electrical Impedance Tomography [Електронний ресурс] / Stanford University. — June 2006. — Режим доступу: <http://www.pangea.stanford.edu>.
4. Шамотко В.І., Дециця С. А. Експериментальні електромагнітні дослідження еконебезпечних територій / За ред. В.І. Старостенка «Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат». — К.: Наук. думка, 2005. — С. 210–232.
5. Саломатин В.Н., Жиленко О.Б. Обзор областей применения геофизического экспресс-метода ЕИЭМПЗ [Електронний ресурс] / Строительство и техногенная безопасность. — 2006. — Вып. 15–16. — С. 213–216. Режим доступу: [http://www.pk.napks.ru/library/compilations\\_vak/sitb/2006/15\\_16/p\\_213\\_216.pdf](http://www.pk.napks.ru/library/compilations_vak/sitb/2006/15_16/p_213_216.pdf).
6. Саломатин М.В., Шкіца Л.Є. Механоелектричні перетворення в твердих тілах із дефектною структурою та можливе рішення за їх допомогою геолого-екологічних задач // Наук. вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. — 2003. — № 1(5). — С. 77–80.
7. Азімов О.Т. Про геофізичний варіант передачі інформації з надр Землі на її поверхню // 36. наук. пр. «Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики». — К., 2011. — С. 82–108.
8. Kioto Iizuka. Subsurface radars // Proceedings of the 1984 International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radars and Imaging Sensors, October 22–24, Tokyo, Japan.
9. Скануючий георадар, адаптований для задач інженерної геології, гідрогеології та екології / Прес-реліз Інституту Радіо Електроніки ім. А.Я. Усікова НАН України. — Харків: Інститут радіоелектроніки НАН України — 2005. — 2 с.
10. Сидоров В.А., Тикшаев В.В. Электроразведка зондирования становления поля в ближней зоне. — Саратов: Изд. Нижневолжского НИИ геологии и геофизики, 1969. — 68 с.
11. Сидоров В.А. Импульсная индуктивная электроразведка. — М.: Недра, 1985. — 185 с.
12. Кобзова В.М., Дециця С.А., Ладанівський Б.Т., Мороз І.П. Фізичне моделювання електромагнітних полів у геологічному середовищі. — К.:Наук. думка, 2008. — 167 с.
13. Патент України № 9443. Пристрій для моделювання нестационарних електромагнітних процесів / Дециця С.А. Пріоритет від 30.09.1996, клас G01V 3/08; Заявл. 19.08.1985; Опубл. 30.09.1996; Бюл. № 3.
14. ATXmega 64A3/128A3/196A3/256A3 Complete [Електронний ресурс]. — 134 pages, updated 06/2013 — Режим доступу: <http://www.atmel.com/devices/ATXMEGA256.aspx>.
15. Патент України № 40624. Спосіб організації каталогу електронного диску / Підвірний О.І. Пріоритет від 27.04.2009, клас G01V 3/08; Заявл.15.07.2008; Опубл.27.04.2009; Бюл. № 8.
16. Підвірний О.І. До питання збору і передачі первинних геофізичних даних в автоматизованих системах // Геодинаміка. — 2013. — Т. 15, № 2. — С. 286–288.
17. Дециця С.А., Романюк О.І., Садовий Ю.В., Підвірний О.І., Кусайло Р.І., Коляденко В.В. Результати детальної електромагнітних зондувань проблемної ділянки північного борту Домбровського кар'єру // Геодинаміка. — 2013. — № 2(15). — С. 136–138.
18. Патент України № 48549. Пристрій для геоелектророзвідки / Дециця С.А., Підвірний О.І., Романюк О.І.; Заявл. 25.03.2010, Бюл. № 6.
19. Дециця С.А., Підвірний О.І. Застосування нетрадиційних систем спостереження для електромагнітного діагностування геосередовища // Тезиси докладов первой международной конференции «Актуальные проблемы электромагнитных зондирующих систем» 27–30 сентября 2009 г., м. Київ. — С. 32–33.
20. Шамотко В.І., Дециця С.А., Романюк О.І., Дутко Р.Б., Кусайло Р.І. Електромагнітне діагностування забруднення геологічного середовища відходами калійного виробництва (на прикладі Калуського родовища Передкарпаття) // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — К.: Т-во «Знання», 2006. — № 1. — С. 75–79.
21. Романюк О.І., Шамотко В.І., Дециця С.А., Дутко Р.Б., Кусайло Р.І. Електромагнітне діагностування забруднення водоносного горизонту на прилеглих до Домбровського кар'єру територіях // Наук. вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. — 2009. — № 1(19). — С. 24–31.
22. Шамотко В.І., Дециця С.А., Петровський А.Л., Романюк О.І., Дутко Р.Б. Електромагнітні дослідження активізації техногенного карсту на територіях видобутку калійних і сірчанних руд Передкарпаття // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — К.: Т-во «Знання», 2002. — № 4. — С. 69–75.
23. Романюк О.І., Шамотко В.І., Дециця С.А., Дутко Р.Б., Петровський А.Л. Електромагнітні дослідження стану геосередовища та прогнозування еконебезпечних явищ в межах техногенних зон видобувних підприємств Передкарпаття // Матеріали наукової конференції «Нові геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища», 9–11 жовтня 2007 р., м. Львів. — 2007. — С. 90.

24. Шуrowsький О.Д., Анікеєв С.Г., Шамотко В.І., Дециця С.А., Ніколаєнко О.А., Поплюйко А.Г. Геофізичний моніторинг екобезпеки геологічних процесів в агломерації м. Калуща // Мінеральні ресурси України. — 2012. — № 2. — С. 31–38.

#### REFERENCES

- Hmelevskoj V., Shevnin V. *Jelektricheskoe zondirovanie geologicheskoy sredy*. Moskva: Izd-vo MGU, Ch.1, 1988 [in Russian].
- Hmelevskoj V., Shevnin V. *Jelektricheskoe zondirovanie geologicheskoy sredy*. Moskva: Izd-vo MGU, Ch.2, 1992 [in Russian].
- Stacey Robert W. *Electrical Impedance Tomography*. Robert W. Stacey. [elektronnyi resurs] Stanford University. June 2006. Rezhym dostupu do resursu: <http://www.pangea.stanford.edu>.
- Experymentalni elektromagnitni doslidzhennia ekonebezpechnykh terytorii*. Shamotko V.I., Deshchytsya S.A. Za redaktsiieiu V.I. Starostenka «Doslidzhennia suchasnoi heodynamiky Ukrainskykh Karpat». Kyiv: Naukova dumka, 2005. P. 210–232 [in Ukrainian].
- Salomatin V.N., Zhilenko O.B. *Obzor oblastej primeneniya geofizicheskogo jekspress-metoda EIJeMPZ*. [Elektronnij resurs] Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost' (Construction and technological safety). 2006. 15-16: p. 213–216. Rezhim dostupu do resursu: [http://www.pk.napks.ru/library/compilations\\_vak/sitb/2006/15\\_16/p\\_213\\_216.pdf](http://www.pk.napks.ru/library/compilations_vak/sitb/2006/15_16/p_213_216.pdf) [in Russian].
- Salomatin M.V., Shkitsa L.Ye. Mekhanoelektrychni pere-tvorennia v tverdykh tilakh iz defektnoiu strukturoiu ta mozhlyve rishennia za yikh dopomohoiu heoloho-ekolohichnykh zadach. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu* (Scientific herald of Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas). 2003, No 1(5), P. 77–80 [in Ukrainian].
- Azimov O.T. *Pro heofizychnyi variant peredachi informatsii z nadr Zemli na yii poverkhniu*. Zbirn. nauk. prats «Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky» (Proc. «Theoretical and applied aspects of Geoinformatics»). Kyiv. 2011, P. 82-108 [in Ukrainian].
- Kioto Iizuka (Toronto, Canada) *Subsurface radars*. Proceedings of the 1984 International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radars and Imaging Sensors, October 22-24, Tokyo, Japan.
- Skanuiuchy heoradar, adaptovanyi dlia zadach inzhenernoi heolohii, hidroheolohii ta ekolohii*. Pres-reliz Instytutu Radioelektroniky im. A.Ya. Usikova NAN Ukrainy. Kharkiv, 2005 [in Ukrainian].
- Sidorov V.A., Tikshaev V.V. *Elektrozazvedka zondirovani-jami stanovleniem polja v blizhnej zone*. Saratov: Izd. Nizhnevolzhskogo NII geologii i geofiziki, 1969 [in Russian].
- Sidorov V.A. *Impul'snaja induktsionaja jelektrozazvedka*. Moskva: Nedra, 1985 [in Russian].
- Kobzova V.M., Deshchytsya S.A., Ladanivskiy B.T., Moroz I.P. *Fizychnye modeliuvannia elektromagnitnykh poliv u heolohichnomu seredovyschii*. Kyiv: Naukova dumka, 2008 [in Ukrainian].
- Patent Ukrainy N 9443*. Deshchytsya S.A. Prystrii dlia modeliuvannia nestatsionarnykh elektromagnitnykh protsesiv. Priorytet vid 30.09.1996, klas G01V 3/08.
- ATXmega 64A3/128A3/196A3/256A3 Complete* [elektronnyi resurs]. 134 pages, updated 06/2013. Rezhim dostupu do resursu: <http://www.atmel.com/devices/ATXMEGA256.aspx>.
- Patent Ukrainy N 40624*. Pidvirny O.I. Sposib orhanizatsii katalogu elektronnoho dysku. Priorytet vid 27.04.2009, klas G01V 3/08.
- Pidvirny O.I. Do pytannia zboru i peredachi pervynykh heofizychnykh danykh v avtomatyzovanykh systemakh. *Heodynamika* (Geodynamics). 2013, No 15(2): 286–288 [in Ukrainian].
- Deshchytsya S.A., Romaniuk O.I., Sadovyi Yu.V., Pidvirny O.I., Kusaylo R.I., Kolyadenko V.V. Rezultaty detalnykh elektromagnitnykh zonduvan problemnoi dilianky pivnichnoho bortu Dombrovskoho kariery. *Heodynamika* (Geodynamics). 2013, No 2(15): 136-138 [in Ukrainian].
- Patent Ukrainy N 48549*. Deshchytsya S.A., Pidvirny O.I., Romaniuk O.I. Prystrii dlia heoelektrozozvidky. vid 25.03.2010, Biul. N 6.
- Deshchytsya S.A., Pidvirny O.I. *Zastosuvannia netradytsiinykh system sposterezhennia dlia elektromagnitnoho diahnostuvannia heoseredovyschcha*. Tezysy dokladov pervoi mezhdunarodnoi konferentsyy «Aktualnye problemy elektromagnitnykh zondyruishchykh system» 27–30 sentiabria 2009. Kyiv. P. 32–33.
- Shamotko V.I., Deshchytsya S.A., Romaniuk O.I., Dutko R.B., Kusaylo R.I. *Elektromagnitne diahnostuvannia zabrudnennia heolohichnoho seredovyschcha vidkhodamy kaliinoho vyrobnytstva (na prykladi Kalush-Holynskoho rodovyschcha Peredkarpattia)*. *Ekolohiia dovkillia ta bezpeka zhyttiediialnosti (Environmental ecology and life Safety)*. Kyiv: T-vo «Znannia» Ukrainy, 2006, No 1. P. 75–79 [in Ukrainian].
- Romaniuk O.I., Shamotko V.I., Deshchytsya S.A., Dutko R.B., Kusaylo R.I. Elektromagnitne diahnostuvannia zabrudnennia vodonosnoho horyzontu na pry-lehlykh do Dombrovskoho kariery terytoriiakh. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu* (Scientific herald of Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas). 2009. No 1(19): 24–31 [in Ukrainian].
- Shamotko V.I., Deshchytsya S.A., Petrovskiy A.L., Romaniuk O.I., Dutko R.B. *Elektromagnitni doslidzhennia aktyvizatsii tekhnogennoho karstu na terytoriiakh vydobutku kaliinykh i sirchanykh rud Peredkarpattia*. *Ekolohiia dovkillia ta bezpeka zhyttiediialnosti (Environmental ecology and life Safety)*. Kyiv: T-vo «Znannia» Ukrainy, 2002, No 4: 69–75 [in Ukrainian].

23. Romaniuk O.I., Shamotko V.I., Deshchytsya S.A., Dutko R.B., Petrovskyi A.L. *Elektromagnitni doslidzhennia stanu heoseredovyscha ta prohnozuvannia ekonebezpechnykh yavyshch v mezhakh tekhnohennykh zon vydobuvnykh pidpriemstv Peredkarpattia*. Materialy naukovi konferentsii «Novi heofizychni tekhnolohii prohnozuvannia ta monitorynhu heolohichnoho seredovyscha». Lviv. 2007. P. 90 [in Ukrainian].
24. Shurovskyi O.D., Anikieiev S.H., Shamotko V.I., Deshchytsya S.A., Nikolayenko O.A., Poplyuiko A.G. Heofizychni monitorynh ekonebezpechnykh heolohichnykh protsesiv v ahlomeratsii m. Kalusha. *Mineralni resursy Ukrainy* (Mineral resources of Ukraine). 2012. No 2. P. 31–38 [in Ukrainian].

*S.A. Deshchytsya, O.I. Pidvirny, O.I. Romanyuk,  
Yu.V. Sadovyi, V.V. Kolyadenko, L.G. Savkiv, Yu.S. Myshchyslyn*  
Carpathian Division of S.I. Subbotin  
Institute of Geophysics, the NAS of Ukraine,  
3B, Naukova Str. Lviv, 79060, Ukraine,  
tel./fax: +38 (032) 264-85-63, carp@cb-igph.lviv.ua

EVALUATION OF THE STATE  
OF THE ECOLOGICALLY PROBLEMATIC  
MINING AND INDUSTRIAL OBJECTS IN KALUSH  
REGION BY ELECTROMAGNETIC METHODS  
AND THEIR MONITORING

Environmentally hazardous geological processes involved in the waste deposits of potash and rock salt pose significant real threats to the environment. To detect, to study and to prevent in time such the processes (carsting, suffosations, landslides) hardware and software complex for induction sounding of the geological environment in the near zone of field source was created and tested. The multiprocessor system for management, collection and transfer to the end users of the data for analysis and operational geological interpretation was developed.

*Keywords:* geological medium, negative process, ecology, electromagnetic field, soundings, evaluation of geological medium state, prediction.

*С.А. Децица, О.И. Пидвирный,  
О.И. Романюк, Ю.В. Садовый, В.В. Коляденко,  
Л.Г. Савкив, Ю.С. Мыщышин*

Карпатское отделение Института геофизики  
им. С.И. Субботина НАН Украины,  
ул. Наукова, 3Б, Львов, 79060, Украина,  
тел./факс: +38 (032) 264-85-63, carp@cb-igph.lviv.ua

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ПРОБЛЕМНЫХ  
ОБЪЕКТОВ КАЛУШСКОГО  
ГОРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ  
И ИХ МОНИТОРИНГ

Экологически опасные геологические процессы, возникающие на отработанных месторождениях калийной и каменной солей, создают существенные реальные угрозы для окружающей среды. Для выявления, изучения и своевременного предупреждения таких процессов (карст, суффозия, оползни) создан и апробирован аппаратно-программный комплекс индукционных мало-глубинных зондирований геологической среды в ближней зоне источника поля. Разработана система управления, сбора и передачи пользователям полученных данных для анализа и оперативной геологической интерпретации.

*Ключевые слова:* геосреда, негативный процесс, экология, электромагнитное поле, зондирование, оценка состояния, прогнозирование.

Стаття надійшла до редакції 16.05.16