

УДК 550.837; 550.8.05

С.А. ДЕЩИЦЯ, О.І. ПІДВІРНИЙ, О.І. РОМАНЮК, Л.Г. САВКІВ

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. Субботіна Національної академії наук України, вул. Наукова 3-б, м. Львів, Україна, 79060 тел. +38(032)2648563, ел. пошта carp@cb-igph.lviv.ua

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНО ПРОБЛЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

Мета. Метою робіт є розроблення комплексу апаратурно-методичних засобів та організація електромагнітного моніторингу екологічно проблемних об'єктів на базі модифікацій електророзвідки. Основні об'єкти спостережень: земляні дамби, ореоли забруднення підземних вод, шахтні поля рудників, інженерно-геологічні об'єкти. **Методика.** Створено і опрацьовано на проблемних територіях регіону (Яворів, Стебник, Калуш тощо) швидкодіючий технологічний комплекс, що дозволяє виконувати малоглибинні класичні електромагнітні зондування геологічного середовища та інші модифікації методу електророзвідки на максимально високих частотах, коли струмами зміщення ще можна нехтувати. Вибір, оптимізація систем спостереження для проведення вимірювань та інтерпретація польових матеріалів здійснюються з врахуванням даних математичного та фізичного моделювання реальних ситуацій. За просторовим розподілом електропровідності упевнено виділяються усі важливі елементи відповідних геологічних розрізів, а також зміни, зумовлені негативними процесами. **Результати.** Отримано геоелектричні розрізи на низці проблемних об'єктів гірничо-промислового комплексу м. Калуш, за якими оцінено стан геологічного середовища, наявність та ступінь розвитку негативних процесів за останні роки. **Наукова новизна.** За просторовими характеристиками електромагнітних полів та їх трансформацій у питомий опір на кількісному рівні визначено геоелектричні параметри обстежених об'єктів та їх динаміку. Створено технологічні засоби оцінки та врахування в інтерпретаційних побудовах розбіжності між геоелектричними та літологічними границями у зонах поступового забруднення підземних вод відходами калійного виробництва, що ґрунтуються на поєднанні даних профільних (площинних) спостережень електромагнітними зондуваннями з даними наявних спостережних гідрологічних свердловин. **Практична значущість.** Метрологічні характеристики пристроїв, зокрема, висока завадостійкість і локальність вимірювань, дозволяють отримувати достовірні дані в умовах високого рівня електромагнітних завад (мережевих, індустріальних). Вагомою перевагою запропонованого технологічного комплексу є мінімальний, неруйнівний вплив на властивості (механічні) досліджуваного середовища, а також можливість виявляти процеси його деградації у початковій стадії, коли запобіжні заходи найефективніші за мінімальних матеріальних витрат.

Ключові слова: геологічне середовище, фільтраційний процес, забруднення, динаміка, електромагнітне поле, зондування, екологія.

Вступ

Екологічно небезпечні процеси, що обумовлені природними і техногенними факторами, здебільшого відбуваються у верхній частині геологічних розрізів та охоплюють глибини до 100–200 м. На відпрацьованих шахтних полях рудників активізація карстових процесів призводить до втрат стійкості покривної товщі порід над гірничими виробками і утворення провальних лійок. Процеси розущільнення, фільтрації, суфозії в ґрунтах дамб і гребель супроводжуються послабленням міцності структурних зв'язків ґрунту, зниженням стійкості та проривами споруд. Надмірне зволоження порід, перевантаження і підрізки схилу активізують зсувні процеси в гірських районах. Усім цим процесам відповідають специфічні геоелектричні умови, котрі і визначають вимоги до технічних характеристик тої апаратури, що призначена для виявлення та вивчення подібних явищ.

Згадані негативні процеси (розущільнення, підвищена фільтрація тощо) на початковій стадії

не призводять до відчутних змін фізико-механічного стану середовища, проте істотно впливають на його електрофізичні характеристики. Так, порівняно невеликі зміни об'єму порового простору приповерхневих ґрунтів на 1–5 % супроводжуються зміною питомої електропровідності на 35–70 %. Внаслідок розвитку негативних процесів в активній області виникають електричні неоднорідності, які просторово збігаються з нею. Точне, на рівні кількісних співвідношень, визначення електричних характеристик і геометричних параметрів утворених неоднорідностей дає можливість адекватно інтерпретувати дані натурних (польових) спостережень, визначати ступінь та масштаби деградації досліджуваних геологічних середовищ. У табл. 1 подані типові для окремих об'єктів геоелектричні умови, визначені на основі наявних польових матеріалів та оптимізовани розміри електророзвідувальних установок Q - q , де Q та q – відповідно генераторний та вимірювальний контури.

Типові параметри геосередовищ проблемних об'єктів

№ з/п	Екологічно небезпечні процеси. Пошукові об'єкти.	Параметри пошукових об'єктів			Оптимізовані розміри електророзвідувальних установок (м)
		<i>H</i> , глибина залягання (м)	<i>h</i> , потужність (м)	ρ , пит. опір (Омм)	
1	Сольовий карст (Калуш, Стебник). Порожнини	20 – 60	5 – 15	6 – 20	Q=60×60, q=30×30
2	Ґрунти дамб хвостосховищ (Калуш, Стебник). Ділянки розущільнення	2 – 30	0,5 – 10	1,5 – 0,2	Q=10×10, q=5×5
3	Сульфатний карст (Новояворівськ, Львівської обл.). Порожнини	25 – 40	3,5 – 10	2,3 – 15	Q=30×30, q=20×20
4	Ореоли засолення (Калуш). Зони аномальної електропровідності	0,5 – 20	-	0,5 – 2,5	Q=10×10, q=5×5
5	Зсуви (Воловець, Копашневе, Закарпат. обл.). Шар динамічних деформацій	2,5 – 10	0,5 – 2,5	2,5 – 10	Q=5×5, q=3×3

Метою робіт є розроблення комплексу апаратурно-методичних засобів для розв'язання актуальних інженерно-геологічних, екологічних задач щодо оцінки стану середовища верхньої частини геологічних розрізів, виявлення і вивчення динаміки негативних процесів (карстових, фільтраційно-суфозійних, зсувних, забруднення підземних вод).

Для виявлення і моніторингу екологічно небезпечних явищ вже давно широко використовуються та вдосконалюються методи постійного струму. Вони здебільшого ґрунтуються на стандартній апаратурі, геометричних зондуваннях геосередовища електричними установками (наприклад, типу А-М-Н-В) різних розмірів та періодичних вимірюваннях позірної опору (ρ_k) і його змін з часом на потенційно небезпечних ділянках. Але через низьку роздільну здатність та локальність, класичні методи постійного струму дають обмежену інформацію про просторові характеристики досліджуваного процесу, оскільки підповерхнева частина геологічних розрізів є найбільш неоднорідною за структурою та електричними властивостями. Модифікації традиційних методів доволі успішно можуть бути використані при вивченні динаміки геологічних процесів, котрі наперед визначають зміни електроопору гірських порід як можливого провідника негативних явищ (землетруси, зсуви). Останнє підтвержене спостереженнями, що проводились на Карпатському геодинамічному полігоні [Шамотко В.І. та ін., 2005]. Перспективи використання постійних (квазістаціонарних) полів контрольованих джерел визначаються новими підходами до виконання подібних завдань, зокрема, таких, що ґрунтуються на електро-резистивній томографії з використанням багато-електродних систем спостережень [Loke M.H., 2011; Луковскі Я., Підвірний О., 2011].

Високу роздільну здатність мають георадарні системи [Philip Kearey etc., 2002]. Їхній принцип дії ґрунтується на розчленовуванні геологічного середовища з різним опором і діелектричною проникністю по відбитих високочастотних електромагнітних сигналах. Найвідоміші георадари: "SI" (GSSI, США), "RAMAC" (Швеція), "PULSE EKKO" (Канада), "OYO" і "KODEN" (Японія), "Zond" (RSI, Латвія), "ГРОТ-5 (6, 7)" і "ЛОЗА" (Росія). За сприятливих умов над високоомними середовищами (сухі ґрунти, вічна мерзлота тощо) глибинність зондування кращими георадарами може сягати 20–30 м і більше, зате в умовах зволжених глин і суглинків максимальна глибина зондувань внаслідок зростання електро-провідності середовища не перевищує 6–10 м. При високій мінералізації зволожуючої рідкої фази їх застосування стає неможливим.

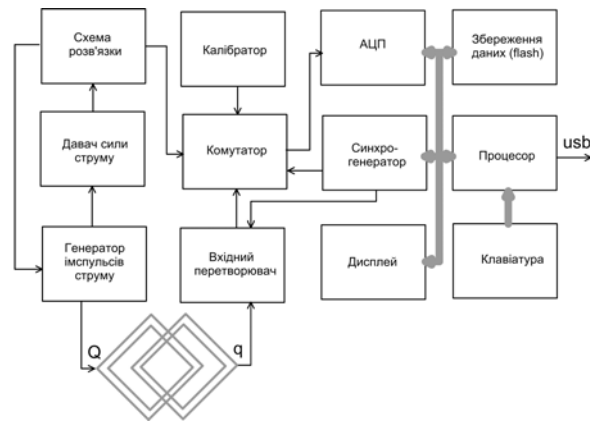
У 70-х роках минулого століття був розроблений метод електромагнітних (ЕМ) зондувань, придатний для розчленовування товщі з низькоомними і високоомними горизонтами, непроникними для постійного струму [Сидоров В.А., 1985; F.Kamenetsky etc., 2010]. З плином часу для зондування малих глибин були розроблені прилади, які ґрунтуються на високочастотних модифікаціях цього методу: "Імпульс-авто" (СНІИГГиМС), "ЕЛЕКТРОТЕСТ-ТЕМ" (НТК "Діоген"), "Пірс" (ФМІ НАНУ), "NanoTEM" (Zonge) та ін. Сьогодні є значний позитивний досвід використання згаданих розробок у виконанні практичних, переважно інженерно-геологічних та екологічних завдань, який підтверджує високу геологічну інформативність та ефективність методу електромагнітних зондувань. Наявні розробки орієнтовані здебільшого на виконання обмеженого кола виробничих завдань і є частинами апаратурно-програмних комплексів окремих фірм. Останнє, а також деякі інші чинники (специфічні формати записування даних, закриті програми їх обробки та управління вимірами,

велика вартість постачання та обслуговування) робить їх найбільш придатними для виконання масштабних виробничих завдань і ускладнює їх використання для створення нових технологічних засобів, які б були придатні для застосування в неординарних ситуаціях. Найчастіше такі ситуації виникають в умовах промислово-міських агломерацій, коли рівень різних заводів – електричних (мережа 50Гц, транспорт, промислові установки), а також умовно "геологічних", що обумовлені побічними впливами на виміри інженерних конструкцій і комунікацій, є надзвичайно високий. Тому високі заводостійкість і локальність вимірювальної системи є основними умовами достовірності виконуваних спостережень.

**Апаратурно-методичний комплекс
ЕМ моніторингу**

Вивчення і попередження екологічно небезпечних і катастрофічних явищ з використанням ЕМ методів ґрунтується на проведенні польових спостережень. При цьому розв'язуються дві основні задачі: електромагнітна оцінка стану геологічного середовища досліджуваного об'єкта та визначення напрямку і динаміки процесів деградації (консолідації), що відбуваються у середовищі.

Для електромагнітної діагностики стану середовищ верхньої частини георозрізів імпульсними ЕМ полями створена заводостійка швидкодіюча цифрова апаратура ("Стадія-М"), що дозволяє виконувати класичні ЕМ зондування та модифікації методу в гранично високому діапазоні частот, коли струмами зміщення здебільшого ще можна знехтувати. Апаратура складається з побудованих на сучасній елементній базі генераторної і вимірювальної частин. Програмне управління ними забезпечує виконання усіх операцій, що стосуються збудження і виміру сигналів, індукованих в середовищі поля, архівування вимірних сигналів в енергонезалежній пам'яті та зчитування даних на персональний комп'ютер за допомогою інтерфейсної програмної оболонки [Сидоров В.А., 1985]. Структура та взірць апаратури показані на рис.1. Ця структура реалізує алгоритм заводостійкого виміру широкосмугових сигналів індукованого поля. Він передбачає сукупність таких послідовних операцій: кодування вхідних сигналів за рівнем в дискретні моменти часу, відраховані від початку процесу становлення; перетворення частотного спектра вхідних і звуження частотного спектра кодованих сигналів; синхронну фільтрацію вимірювальних сигналів; подавлення комутаційних шумів і наявної на вході постійної і повільно змінної напруги (зокрема, обумовленої поляризаційними процесами), когерентне детектування вимірювальних сигналів і подавлення побічних продуктів детектування [Патент №9443, 1996]. Метрологічні параметри апаратури дозволяють використовувати її як під час польових спостережень, так і у разі фізичного моделювання ЕМ процесів в 3D середовищах з дотриманням умов подібності.



а)



б)

Рис. 1. Структура (а) і взірць (б) апаратури для діагностування геологічних середовищ

Основні технічні характеристики апаратури "Стадія-М": Максимальний імпульсний струм – 10 А. Форма збуджуючого струму – знаковмінні розділені паузами імпульси. Початковий час реєстрації сигналів нестационарного поля – 0,1 мкс. Мінімальний крок дискретизації сигналів з часом – 0,1 мкс. Амплітудний діапазон – 100 дБ

Апаратура та методичні прийоми оцінки стану середовища також використовувалися для вивчення динаміки екологічно небезпечних процесів. Для цього на виділених ділянках, де інтенсивного розвитку набули екологічно небезпечні процеси, проводилися періодичні спостереження. Окрім апробованих (стандартних), використовувалися спеціальні установки, чутливі до змін параметрів середовища [Патент України № 48549, 25.03.2010, Патент № 1347064, 1987]. Особливу зацікавленість становлять так звані індикаторні установки, зокрема, установки, що використовують для збудження первинного поля вертикальний магнітний диполь (Q_z), а для виміру наведеного поля – давачі горизонтальних магнітних компонент (q_x, q_y). Над горизонтально однорідними середовищами сигнали в давачах відсутні і з'являються у разі появи латеральних неоднорідностей, обумовлених розвитком негативних процесів (розширення ореолів забруднення підземних вод, карст, зміни параметрів середовища, пов'язані з тектонічними процесами). Подібні властивості мають також установки електророзвідувального методу зондувань вертикальними струмами (ЗВС), що використовують круговий електричний диполь (КЕД) [Патент Р.Ф. №1062631, Могилатов В. С. и

др., 2013] як джерело електромагнітного поля. Хоча метод ЗВС розроблений для виконання завдань нафтопошукової і рудної геофізики, він має свої характерні особливості: усунення динамічного фону вміщуючого середовища (вимірювані сигнали зумовлені лише локальними геоелектричними неоднорідностями), реалізація площинних вимірів із закріпленим джерелом. Можна використовувати для ЕМ моніторингу приповерхневих середовищ проблемних територій. При цьому в комплексі з КЕД (основним технологічним вузлом методу ЗВС), разом з типовою стандартною апаратурою, можна застосовувати автономні вимірювальні цифрові станції "Полігон-6" з широкою робочою частотною смугою, які ми використовуємо під час польових спостережень ЕМ полів природних і контрольованих джерел в аудіодіапазоні. Автономні станції, структура яких показана на рис. 2, побудовані за модульним принципом, їх конфігурація і технічні характеристики змінюються залежно від виконаних завдань.

Базовими є модулі вимірювальних каналів і модуль системних інтерфейсів. Окрім того, до складу вимірювальної цифрової станції "Полігон-6" входять допоміжні модулі: GPS і GSM.

Модуль GPS призначений для визначення місця розташування станції.

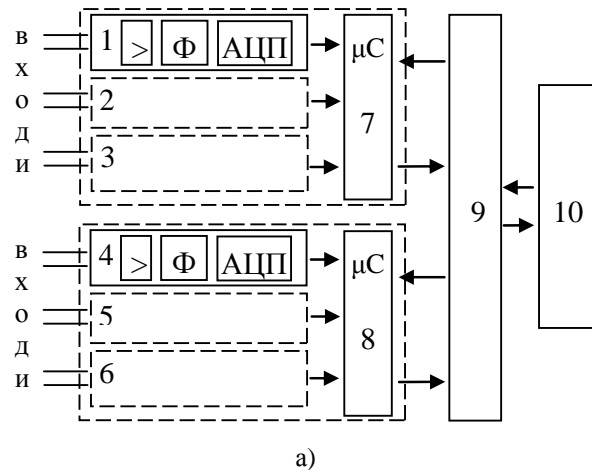
Модуль GSM забезпечує оперативне передавання даних спостережень у центр для внесення в базу даних [Підвірний О.І., 2013]. Передбачена можливість дистанційного керування вимірювальною цифровою станцією «Полігон-6» в автоматичному режимі, що особливо зручно під час довготривалих (моніторингових) спостережень.

Принциповим моментом є використання для передавання даних мереж стільникового зв'язку стандарту GSM, якими покрита практично вся територія України [GSM, <http://uk.wikipedia.org/wiki/GSM>]. Швидкість передавання даних у каналі GPRS мереж 2.5 G (uplink) не може перевищувати 20–30 кБод, але цього цілком достатньо. Передавання даних здійснюється з виходом з мережі GSM через шлюз оператора в Інтернет. Можливі такі варіанти передавання даних:

а) передавання даних на ftp сервер даних (протокол ftp);

б) передавання даних на поштовий сервер (протокол SMTP).

У разі проведення спостережень кількома пристроями одночасно (під час теренових досліджень) кожен пристрій у своєму часовому слоті з'єднується з сервером, щоб передати інформацію. Дані з поштової скриньки в ручному режимі переносяться в базу даних з подальшою обробкою та візуалізацією. Під час передавання даних на ftp сервер дані переносяться автоматично.



б)

Рис. 2. Структурна схема (а) і взірць (б) цифрової станції «Полігон-6» для польових та лабораторних спостережень:

1-6 – плати аналого-цифрових перетворень (АЦП), > – вхідний підсилювач, Ф – фільтр, 7-8 – каналні мікроконтролери, 9 – модуль системних інтерфейсів, 10 – персональний комп'ютер
Основні характеристики станції «Полігон-6»
Кількість каналів – 6. Подавлення синфазних сигналів по входах – не менше 100 дБ. Частота дискретизації в каналах – програмована, до 20 кГц. Розрядність перетворення – 24 біти. Роздільча здатність часової синхронізації – 10 мс. Об'єм вбудованого накопичувача – до 16 Гб. Споживана потужність – до 2,0 Вт

Модуль вимірювальних каналів призначений для попереднього підсилення і фільтрації вимірюваних сигналів, перетворення їх у цифрову форму і передавання їх у модуль системних інтерфейсів, де відбувається впорядкування отриманих даних, доповнення мітками часу і додатковою службовою інформацією з подальшим записом на флеш-картку енергонезалежної пам'яті. Окрім того, модуль системних інтерфейсів обслуговує клавіатуру та індикатор (вони призначені для управління станцією і задання режимів її роботи), а також підтримує канал зв'язку з персональним комп'ютером.

Така побудова апаратури забезпечує високу автономність досліджень за рахунок великої інформаційної місткості нагромаджувача і малого енергоспоживання.

Математичне і фізичне моделювання приповерхневих процесів. Виконання завдань про стан і динаміку досліджуваних геологічних середовищ припускає можливість використання методів математичного і фізичного моделювання на всіх етапах виконання технологічного циклу, а також вибір модифікації зондувань і систем спостереження, планування і методу виконання польових робіт, обробку та інтерпретацію зареєстрованих даних.

Для модельних досліджень особливостей електромагнітних процесів в геологічних середовищах, що деградують, використовується моделююча установка Карпатського відділення ІГФ НАН України, побудована на базі електролітичної ванни. Моделюють із дотриманням критерію електромагнітної подібності моделі і природи. Для методу становлення ЕМ поля прийнято $l_n^2/t_n \cdot \rho_n = l_m^2/t_m \cdot \rho_m$, де t – час від початку становлення поля (с), ρ – питомий опір (Ом·м), l – характерний лінійний розмір (потужність шару, розмір установки) в метрах, індекси "н" і "м" означають параметри природи та моделі. У геометричному масштабі моделювання $1:10^2 - 10^3$ часовий діапазон польових спостережень трансформується в область малих часів ($< 10\text{мкс}$).

Математичні моделі (переважно одновимірні), що мають аналітичні розв'язки, використовуються для калібрування даних фізичного моделювання, а останнє може слугувати для підвищення достовірності і коригування результатів польових спостережень над складними 3D структурами (рис.3) [Кобзова В.М. та ін., 2008].

Застосування фізичного моделювання дає технологічну можливість реалізувати метод підбору під час розв'язання обернених задач, коригування інтерпретаційних побудов з використанням усіх наявних в 3D умовах компонент наведеного поля. Відзначимо, що практично усі згадані раніше ТЕМ-системи (Time domain electromagnetic) для збудження первинного, а також виміри наведеного полів широко застосовують установки з вертикальними магнітними контурами (Q-q), проте лише над горизонтально однорідними (1D) середовищами в наведеному полі відсутні горизонтальні компоненти (H_x, H_y), і вимірювана компонента H_z (чи $\partial B_z/\partial t$) відповідає повному вектору.

Просторові характеристики повного вектора індукованого поля над середовищами, що мають складний розподіл геоелектричних параметрів, визначаються методом моделювання. На законності та особливостях його компонент ґрунтується вибір оптимальних з погляду розв'язуваної задачі систем і мережі спостережень, розробка нових підходів у визначенні параметрів реальних об'єктів під час інтерпретації польових даних.

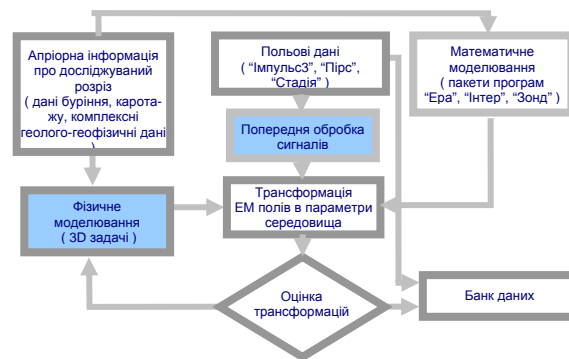


Рис. 3. Структурна схема інтерпретації даних

Найбільш прийнятним для імітації динаміки екологічно небезпечних процесів, тобто змін геоелектричних параметрів аномальних областей середовища з часом, є фізичне моделювання з використанням електролітів, що дає змогу порівняно оперативно відображати характерні зміни параметрів модельованого об'єкта. Це дає можливість вибирати стосовно кожного об'єкта високочутливі до відносних змін середовища варіанти вимірювальних установок (зокрема нетрадиційні), однозначно інтерпретувати дані польових спостережень такими установками. Детальніше методика і технологічні переваги комплексування фізичного моделювання з натурними спостереженнями викладені в публікаціях [Кобзова В.М. та ін., 2008, Дешиця С. та ін., 2002]. Розроблений апаратно-методичний комплекс використовувався не лише для оцінки стану території під промислове та цивільне будівництво, але й для виконання важливих завдань попередження екологічно небезпечних явищ, зокрема:

на територіях розвитку техногенного і природного карсту

- виділення і картування найбільш нестійких зон гірських порід у межах гірничого відводу;
- визначення ділянок ймовірного прориву надсолених вод у гірничі виробки та ділянок розвитку суфозії і карсту;
- визначення ступеня закарстованості і динаміки карстових процесів;

на гідротехнічних спорудах і прилеглих територіях

- виявлення розущільнених ділянок в тілі та основі земляних дамб і гребель;
- дослідження динаміки розвитку зон підвищеної фільтрації рідкої фази;
- оцінка ступеня і картування ореолів забруднення підземних вод рідкими промисловими відходами;

на зсувних масивах

- виділення основного деформівного горизонту і поверхонь ковзання;
- прогнозування активізації зсувних процесів на основі періодичних оцінок стану ґрунтів зсувного масиву.

Для виконання цих завдань в різні часи були застосовані розроблені апаратно-методичні засоби. Технологія ЕМ діагностики стану геологічних середовищ в комплексі стандартних геофізич-

них методів успішно використана на ділянках техногенного сульфатного карсту в межах депресійної лійки Язівського кар'єру сірчанних руд (Яворівський р-н), карстопровальних ділянках шахтних полів Калуш-Голинського калійного родовища під час експлуатації та ліквідації копалень, зсувних схилах Закарпаття, а також будівельних майданчиків Львова [Шамотко В.І. і др., 1999, Шамотко В.І. та ін, 2002, Шамотко В.І., Дециця С.А., 2005].

Результати електромагнітних спостережень

Останнім часом велике занепокоєння викликають екологічно небезпечні процеси в агломерації м.Калуш. Тут впродовж багатьох років родовища калійних руд розроблялися шахтним способом двома копальнями ("Калуш", "Ново-Голинь") і відкритим способом ("Домбровський кар'єр"). Для апробації нових модифікацій ЕМ оцінки стану середовища, прогнозування і попередження екологічно небезпечних явищ на території гірничого відводу виділено декілька потенційно небезпечних об'єктів як локальні полігони (рис. 4).

Основним методом для усіх об'єктів були високочастотні зондування становленням поля у ближній зоні джерела (ЗСБ-ВЧ) магнітними (Q-q) установками з різними розмірами генераторного (Q) і приймального (q) контурів: $Q = 100 \text{ м}^2 - 400 \text{ м}^2$, $q = 25 \text{ м}^2 - 100 \text{ м}^2$. Діапазон часів реєстрації нестаціонарного поля – $10^{-6} - 10^{-3} \text{ с}$. Попередня обробка та архівування даних здійснювалися за допомогою стандартних і оригінальних пакетів програм технологічного комплексу [Патент України № 40624, 27.04.2009, Патент України № 51550, 26.07.2010]. Для інтерпретації даних здебільшого використовувався інтегральний і диференціальний методи трансформації поля в параметри середовища (пакет програм "ЗОНД", автори Р.С. Сейфуллін, В.І. Мамонтов).

Хвостосховище №2. Спостереження за станом ґрунтів дамби виконувалися впродовж тривалого часу. На рис. 5 подані результати ЕМ зондувань, отримані останніми роками (2003–2013 рр.). Виміри виконувалися по периметру дамби з кроком 50 м. між пунктами зондування. Виділені ними ділянки з аномально високою електропровідністю зараховані до ділянок розвитку фільтраційних процесів. На них виконувалися детальні зондування по поперечних профілях з кроком 5 м. Найнебезпечнішою виявилася ділянка з'єднання західного і північного бортів, де в укосі нарощеної частини дамби (ПК 0) спостерігався вихід фільтраційних вод (розсоли). Результати спостережень динаміки фільтраційних процесів за десятирічний період наведені у вигляді послідовності геоелектричних розрізів (I–V). На геоелектричному розрізі першого циклу аномальними значеннями опору виділяється три ділянки розушільнення ґрунтів дамби на різних гіпсометричних рівнях. Верхня локальна провідна ($\rho = 0,5 - 0,9 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) зона (у

межах рівня 326 м) потужністю 0,5 – 1,8 м розміщена в намитому галітовому пляжі. Її існування очевидно обумовлене високим рівнем мінералізованих вод у хвостосховищі. Найбільш протяжною ($\approx 50 \text{ м}$) і небезпечною є друга зона на рівні відміток 323–324 м з потужністю 1–2 м та аномально низьким питомим опором ($\rho = 0,5 - 1,0 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), де проникаючі розчини сягають низового укосу первинної дамби.

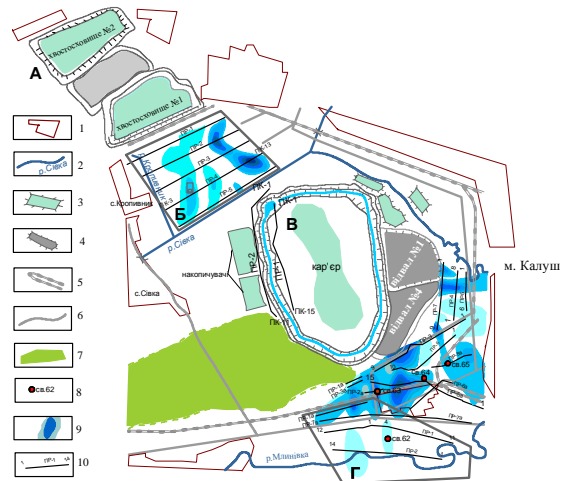


Рис. 4. План території з досліджуваними об'єктами:

«А» – хвостосховище №2; «Б» – шахтне поле рудника «Ново-Голинь» (ділянка хвостосховища №1 – р.Сівка); «В» – борт Домбровського кар'єру; «Г» – територія, прилегла до Домбровського кар'єру, забруднена відходами калійного виробництва і розсолотками осадового походження

(ділянка Домбровський кар'єр – р. Млинівка)
 1 – житлові об'єкти; 2 – річка; 3 – накопичувачі рідких відходів; 4 – соляні відвали; 5 – залізнична колія; 6 – автошляхи; 7 – лісовий масив; 8 – свердловини; 9 – аномальні зони підвищеної провідності; 10 – профілі і пункти зондування

Внаслідок фільтрації в зоні, що збігається з депресивною поверхнею фільтраційного потоку, відбувається поступовий масоперенос солей з хвостосховища в тіло дамби, його засолення і насичення порового простору високомінералізованим розчином, що зумовлює розвиток повзучості скелета ґрунтів дамби. Це призводить до зниження її стійкості. У низовому укосі тіла первинної дамби виділено локальну зону пониженого опору ($\rho = 1,5 - 2,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) потужністю до 5 м і глибиною залягання в межах відміток 318,0–313,0 м, що сягає верхів основи дамби. Поява такої зони пов'язана з фільтрацією і скупченням розсолів. Інші варіанти її походження маловірогідні, оскільки в нижній частині розрізу в межах внутрішнього укосу греблі розташовуються найбільш консолідовані ґрунти, опір яких становить більше ніж 100 Ом·м.

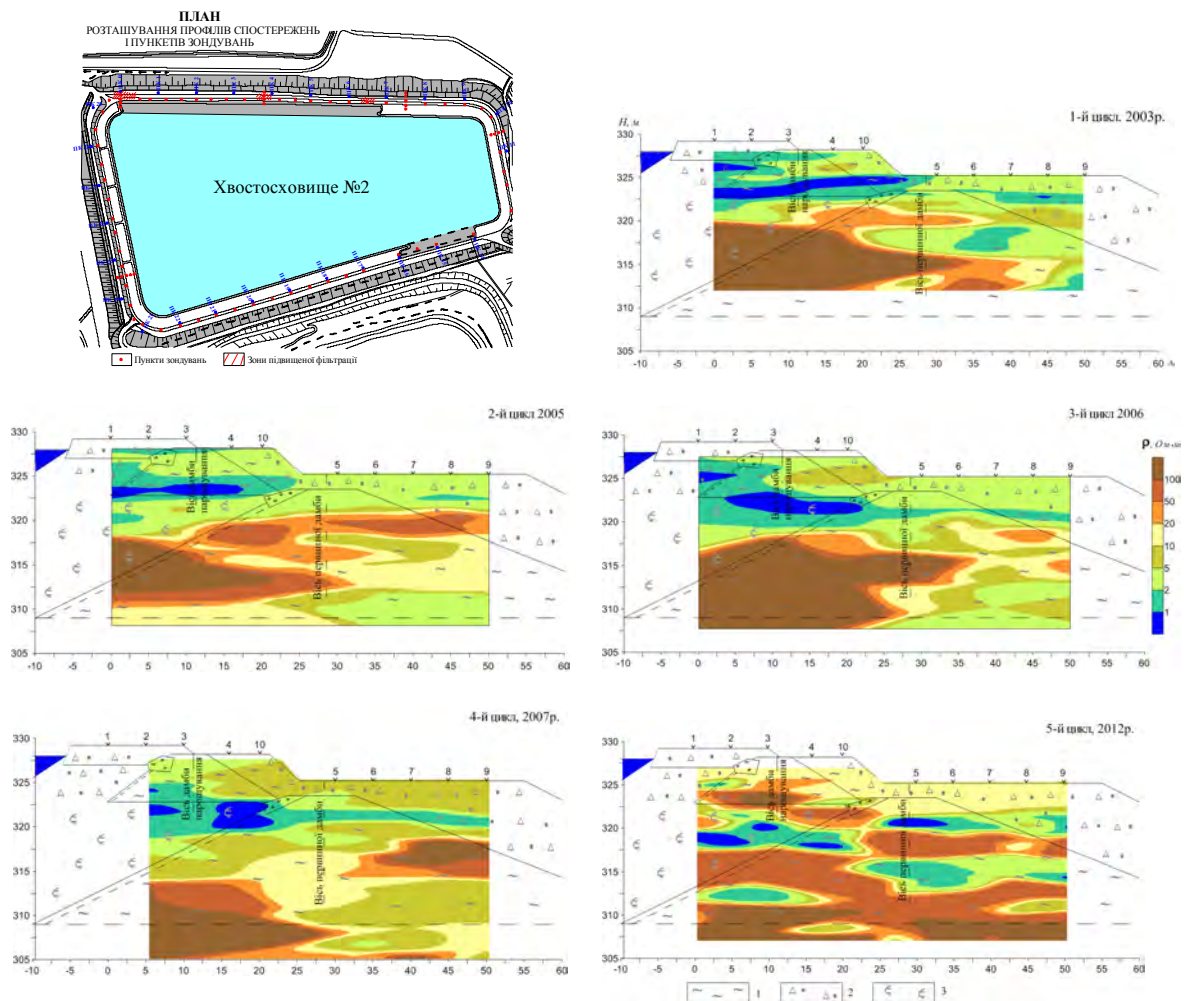


Рис. 5. Динаміка фільтраційних процесів у тілі дамби хвостосховища №2 на ділянці ПК-0:

1 – суглинок; 2 – гравійно-піщані ґрунти; 3 – намитий пляж галіту;

А – план хвостосховища; I-V – поперечні геоелектричні розрізи п’яти циклів спостережень

За результатами спостережень другого циклу (2005 р.) фіксується істотна консолідація ґрунтів дамби, зменшуються розміри і зростає опір виділених аномальних ділянок. Найбільші позитивні зміни сталися внаслідок проведених робіт (2003–2005 рр.) щодо підсилення дамби і зниження рівня розсолів у хвостосховищі.

За період 2006–2007 рр. (III і IV цикли) поновлюється наповнення хвостосховища рідкими високомінералізованими відходами, рівень яких до 2007 р. сягає відмітки 327 м, що всього на 1 м нижче за нарощену частину дамби. Процеси фільтрації активізуються, найбільших змін зазнає друга ділянка, її потужність зростає з 1-го до 4,5 м. Поновилися фільтрація до первинної дамби, що спостерігалася в першому циклі, та погіршився стан ґрунтів, що відокремлюють її від значно розущільненої (друга ділянка) частини дамби.

П’ятий (V) цикл спостережень виконаний в 2012 р., коли рівень мінералізованих вод у хвостосховищі істотно знизився, оскільки Калушський

калійний завод припинив роботу. Внаслідок цього в тілі дамби сталися зміни, що загалом свідчать про стабілізацію стану ґрунтів. Виділені раніше ділянки аномально високої провідності розбиті на фрагменти, розділені високоомним (консолідованим) середовищем.

Аналогічні спостереження з метою оцінки стану ґрунтів, локалізації послаблених зон виконані і на інших ділянках. Вони підтвердили високу геологічну інформативність використовуваних апаратурно-методичних засобів та доцільність їх застосування в комплексі геофізичних методів, призначених для виконання подібних завдань.

Північно-західний борт є однією з найбільш небезпечних і проблемних ділянок Домбровського кар’єру. Тут спостерігається інтенсивний розвиток фільтраційно-суфозійних процесів, що супроводжується обваленням порід. Враховуючи близькість до кар’єру річки Сівки, накопичувачів розсолів, з часом це може спричинити катастрофічно небезпечні події. На рис. 6 наведені

результати ЗСБ по двох профілях, що пролягають вздовж борту з різних боків від водозбірної траншеї. Проведені на цих профілях зондування відзначають, разом з ділянкою інтенсивної суфозії, протяжну низькоомну ділянку на глибинах 25–30 метрів, імовірно зумовлену насиченням розущільнених порід мінералізованими водами.

Забруднення високомінералізованими відходами підземних вод на території гірничого відведення. Спостереження методом ЗСБ-ВЧ з метою виявлення масштабів і ступеня забруднення геологічного середовища проведені по мережі профілів і пікетів [Романюк О.І. та ін., 2009, Шуровський О.Д. та ін., 2012], що розташовані на прилеглих до кар'єру територіях і в межах житлових масивів міста (рис. 4). На поданій схемі розташування забруднених територій інтенсивно забарвленим зонам відповідає більш високий ступінь забруднення. Окремі ділянки ("Б", "Г") території використані як локальні полігони для проведення моніторингу і розробки методики зондування забруднених середовищ.

Інтерпретація даних ЗСБ та оцінка стану геологічних середовищ забруднених територій має відмінні від типових підходів особливості. Так, в умовах стабільної, відносно невисокої мінералізації підземних вод, коли процеси забруднення приповерхневого середовища відсутні, параметри геоелектричних розрізів, зокрема межі розділу середовищ, відображають реальне розділення порід за речовинним складом, літологічними і структурними характеристиками. Динамічні процеси, що призводять до зміни пористості, проникності, впливають переважно лише на електричні властивості елементів розрізу.

Забруднення підземних вод високомінералізованими відходами значно змінює ситуацію. Залежність питомого електричного опору гірських порід від ступеня мінералізації розчинів, що їх насичують, не є однаковою. Відомо [Матвеев В.С. и др., 1985], що починаючи з певного рівня мінералізації, подальше її підвищення повторює залежність для гравійно-галькових відкладів і водних розчинів (рис. 7, а). Внаслідок цього, геоелектричні границі в інтерпретаційних побудовах зміщуються відносно реальних (геологічних), що визначаються за даними буріння.

Невідповідність геоелектричних границь з літологічними буде тим більшою, чим більша мінералізація насичуючого розчину. При цьому границя розділу між розущільненими породами і підшовою гравійно-галькових відкладів зондуваннями не відзначається. При мінералізації

менше за критичну (20 г/л для глин) глинисті відклади мають питомий опір, менший, ніж породи водоносного горизонту і проявляються як водоносний шар з підвищеною мінералізацією. Ці особливості підтверджуються результатами параметричних зондувань над гідрогеологічними свердловинами (рис. 7, б), які наведені у вигляді трансформацій нестационарного поля – залежностей сумарної поздовжньої провідності (S) від глибини (H) і зіставлені з відповідними геологічними розрізами (колонки справа). Відзначені особливості враховувалися під час оцінювань ступеня і динаміки забруднення підземних вод.

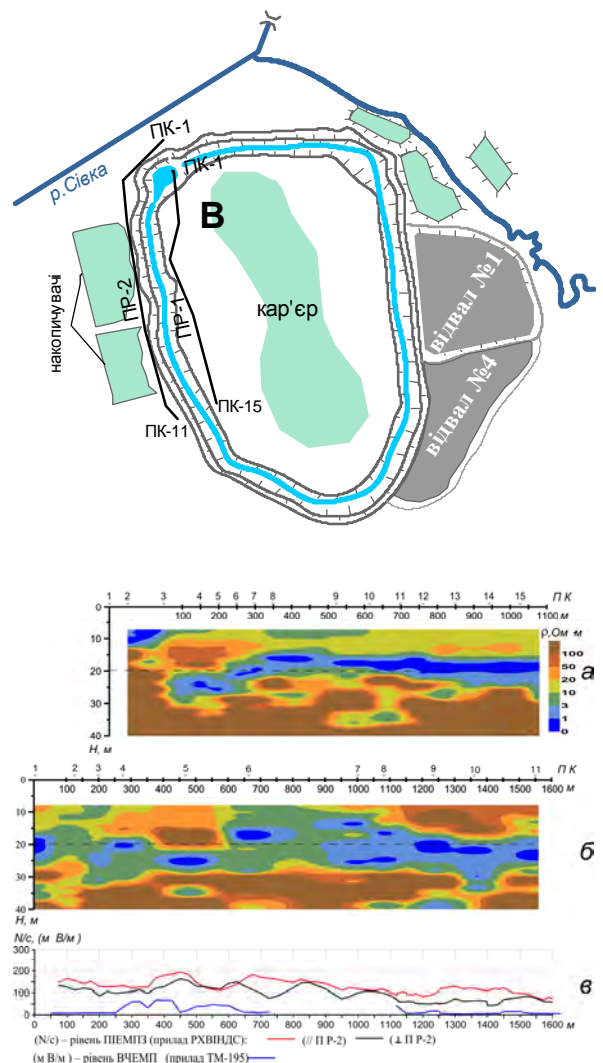


Рис. 6. Схема розташування профілів і результати зондувань ділянки вздовж північно-західного борту Домбровського кар'єру

з внутрішньої (а) і зовнішньої (б) сторін обвідного каналу. Внизу (в): результати профільних вимірювань горизонтальних компонент природного імпульсного ЕМ поля і рівня високочастотних ЕМ полів.

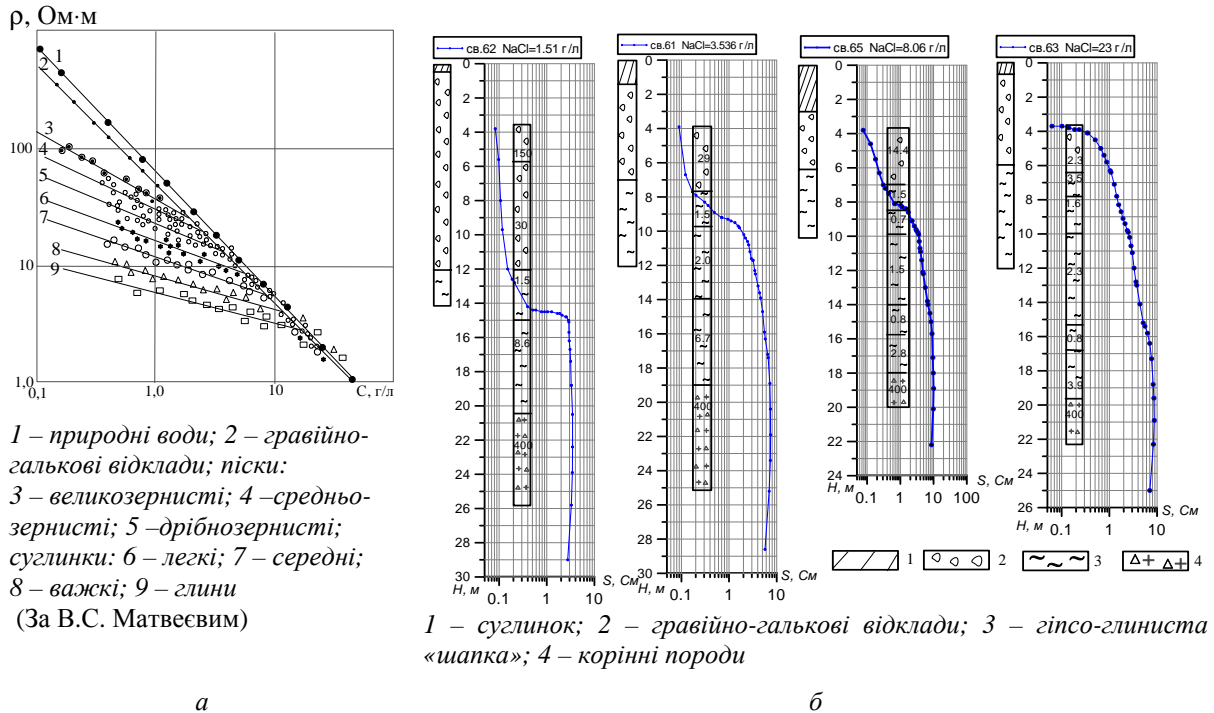


Рис. 7. Графіки (а) залежності питомого електричного опору гірських порід від мінералізації насичуючого розчину та результати зондувань (б) біля параметричних свердловин з різним ступенем мінералізації підземних вод

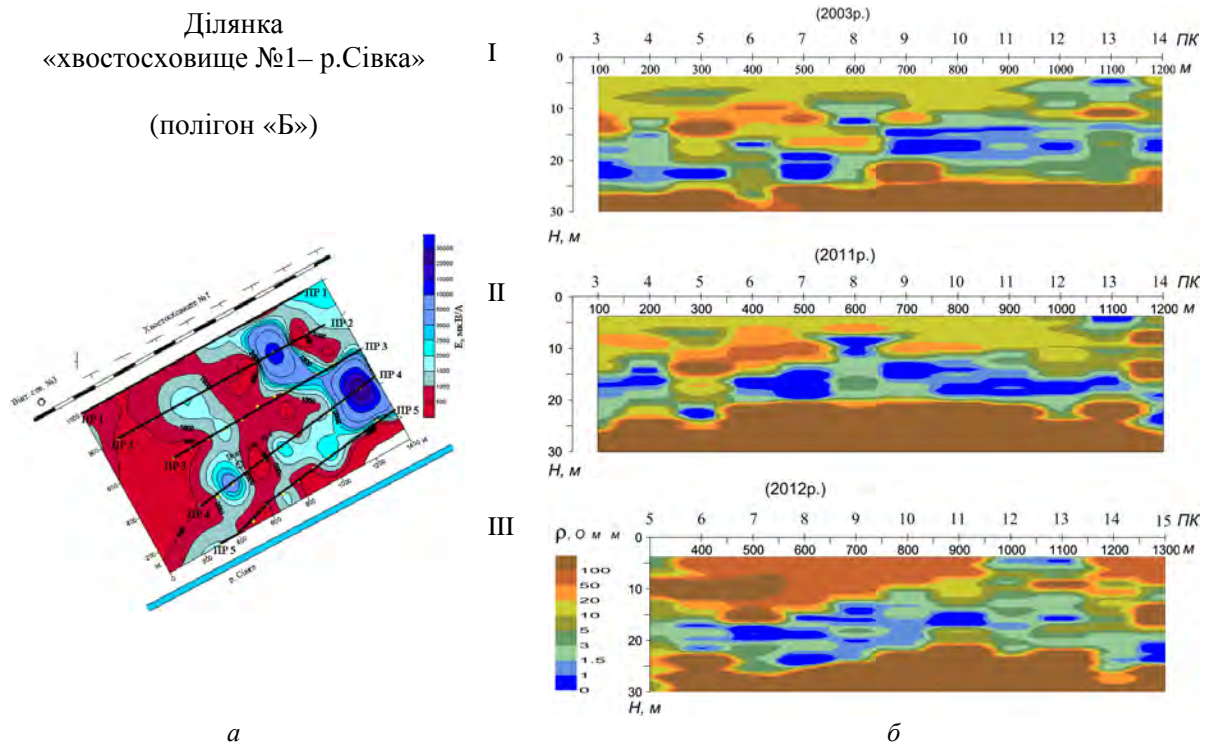


Рис. 8. Розміщення аномалій індукованого ЕМ поля в гравійно-гальковому водонасному горизонті (а) і геоелектричні розрізи (б) І-ІІІ циклів спостережень динаміки забруднення

На ділянці *шахтного поля копальні "Ново-Голінь"* у 2003р. були виконані площинні спостереження методом ЗСБ-ВЧ по мережі 200x100 м. За даними цих спостережень оцінено ступінь забруднення гравійно-галькового горизонту на площі близько 0,9 км². Виділені зони з аномально високими рівнями забруднення водоносного горизонту (рис. 8, а) у районі розсолостоку, по якому води хвостосховища №1 при переповненні скидалися в р.Сівку, рівень мінералізації перевищував 50 г/л. Рихлі відклади верхньої частини розрізу сприяли проникненню цих вод на значні глибини, де вони поєднуються з мінералізованими глибинними водами. На рис. 8, б показані результати трьох циклів зондування вздовж четвертого профілю (ПР4), проведених з метою оцінювання динаміки забруднення. Цей профіль перетинає три аномальні зони, що виникли в районі відвалів соленосних порід (ПК6-7), його геоелектричний розріз переважно неоднорідний по латералі і глибині. Гравійно-галькові відклади утворюють від трьох до п'яти прошарків з різними опором і геометрією.

Низькоомний горизонт ($\rho = 0,4-3,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), що підстилає гравійно-галькові утворення і залягає в інтервалі глибин 12–26 м, відповідає алювіальним глинисто-піщаним відкладам, насиченим мінералізованим розчином. За минулий період істотні зміни спостерігаються лише у верхній частині розрізу – зростає його однорідність і знижується рівень забруднення, для останнього характерні більш за значеннями питомого опору середовища.

Геоелектричні параметри верхньої (розущільненої) частини алювіальних відкладів істотно не змінюються, як і в попередніх випадках глибоке проникнення розчинів спостерігається на локальних ділянках профілю, що збігаються з аномальними зонами. Загальний рівень по глибині цього горизонту залишається практично незмінним упродовж усього періоду спостережень (2003–2012 рр.)

Ступінь і динаміка забруднення південної ділянки території, прилеглої до Домбровського кар'єру, оцінювалися за результатами спостережень за допомогою системи профілів (ПР-1, ПР-2, ПР-7) широтного напрямку. Таке розташування профілів дозволило контролювати розвиток забруднення у напрямку басейну річки Лімниці та її притоків (річка Млинівка). У складній ситуації може опинитися водозабір м. Калущ, що розташований на Лімниці за два кілометри на південь від кар'єру. Головними джерелами забруднення геологічного середовища є як сам кар'єр, так і розміщені біля нього зовнішні відвали соленосних порід. Під дією опадів на цих відвалах формуються розсолостоки, що проникають у водоносні горизонти геологічного розрізу.

У верхній частині розрізу залягають породи гіпсо-глинистої "шапки" (ГГШ), що утворилися внаслідок зміни соляних і соленосних порід під впливом фізико-хімічних процесів. Гіпсо-глинисті утворення перекривають гравійно-гальковий горизонт і суглинки. Їх сумарна потужність може сягати 18 м. У розрізі є два водоносні горизонти. Це

верховодка в покривних суглинках на глибинах 1–1,5 м від поверхні і гравійно-гальковий горизонт на глибинах 5–15 м. Для захисту геологічного середовища від забруднення використовують дренажні траншеї з акумулюючими басейнами, солонепроникні екрани в основі і на поверхні відвалів та інші засоби, ефективність яких через об'єктивні причини з часом знижується.

На рис. 9 наведена динаміка геоелектричних параметрів розрізу по другому профілю в період з 2005 по 2012 роки. На отриманих в різні роки геоелектричних розрізах є (повторюються) характерні для них елементи, в яких певною мірою змінюються кількісні характеристики. За питомим електричним опором відзначаються ділянки аномально низьких значень (0,5 – 1,5 Ом·м) потужністю 1–5 м (гіпсометричний рівень приблизно 12 м). Вони є практично по всій довжині профілю. Знайдений з урахуванням параметричних зондувань питомий опір гравійно-галькового горизонту, при середній потужності приблизно 11 м, коливається від 10 до 76 Ом·м, а ділянка високої провідності по глибині відповідає в основному нижній частині гравійно-галькового горизонту і верхній частині ГГШ. Глибина залягання низькоомної ділянки постійно від циклу до циклу зміщується на менші гіпсометричні рівні. Відзначимо, що аналогічні зміни спостерігаються і на інших профілях цієї ділянки, що свідчить про об'єктивність спостережуваного процесу і вказує на проникнення мінералізованих вод на нижчі гіпсометричні рівні. Така закономірність не виключає впливу погодних і кліматичних чинників, хоча на іншому полігоні ("Б") такої динаміки не спостерігалось. Враховуючи отримані за минулий період даних, можна припустити, що найбільш вірогідною причиною спостережуваного процесу є інфільтрація водотривким шаром гіпсо-глинистих відкладів слабкомінералізованих вод гравійно-галькового горизонту.

За просторовими характеристиками електромагнітних полів та їх трансформацій у питомий опір на кількісному рівні визначено геоелектричні параметри обстежених об'єктів та їх динаміку. Створено технологічні засоби оцінки та врахування в інтерпретаційних побудовах розбіжності між геоелектричними та літологічними границями у зонах поступового забруднення підземних вод відходами калійного виробництва, що ґрунтуються на поєднанні даних профільних (площинних) спостережень електромагнітними зондуваннями з даними наявних спостережних гідрологічних свердловин. Метрологічні характеристики пристроїв, зокрема, висока завадостійкість і локальність вимірювань дозволяють отримувати достовірні дані в умовах високого рівня електромагнітних завод (мережевих, індустріальних). Вагомою перевагою запропонованого технологічного комплексу є мінімальний, неруйнівний вплив на властивості (механічні) досліджуваного середовища, а також можливість виявляти процеси його деградації у початковій стадії, коли запобіжні заходи найефективніші за мінімальних матеріальних витрат.

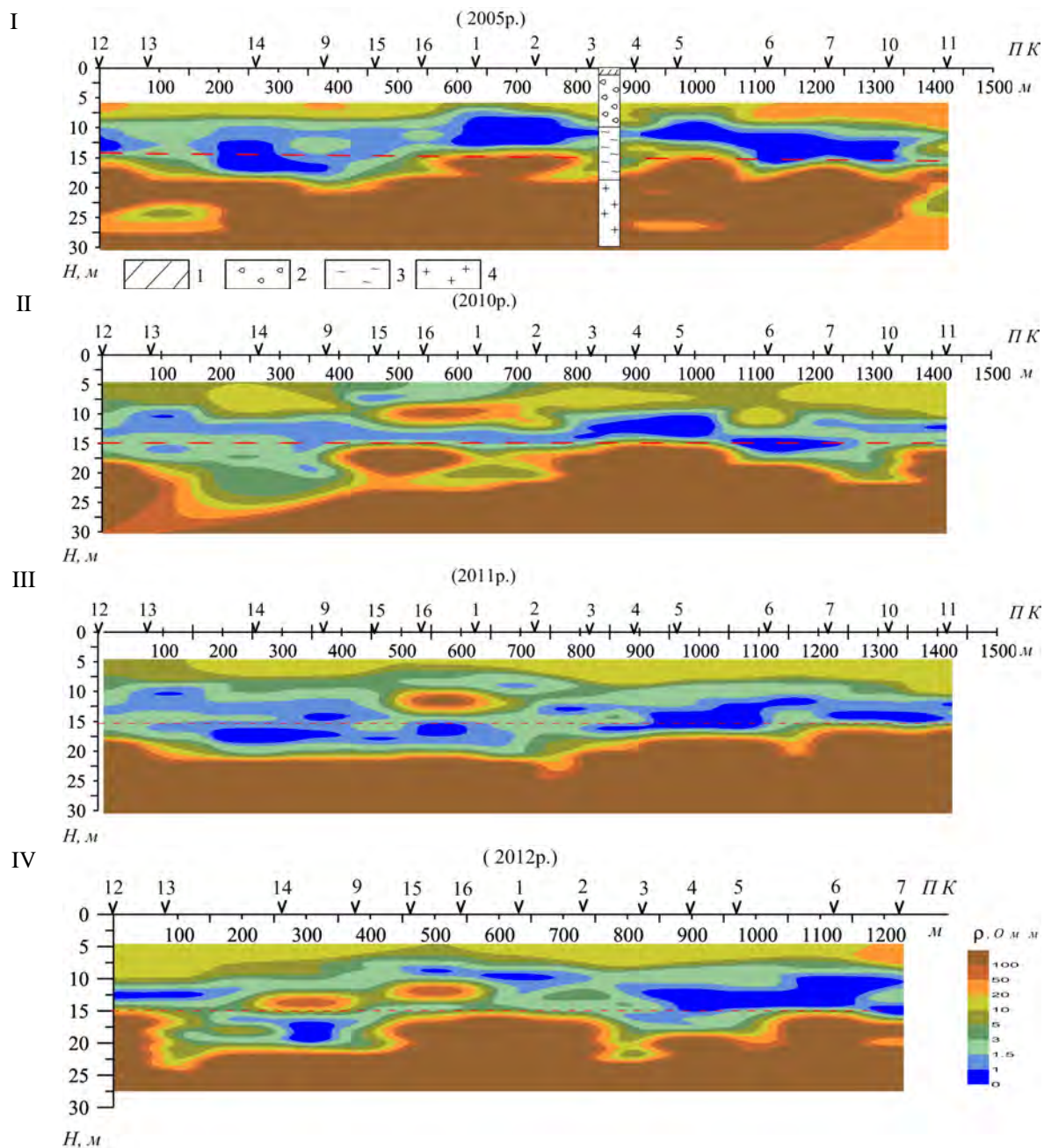


Рис. 9. Динаміка параметрів геоелектричного розрізу по другому профілю (ПР-2) на південній, прилеглої до Домбровського кар'єру (полігон «Г»), ділянці I-IV – поперечні геоелектричні розрізи чотирьох циклів спостережень: 1 – суглинок; 2 – гравійно-галькові відклади; 3 – породи гіпсо-глинистої шапки; 4 – корінні породи

Висновки

Розроблений комплекс технологічних засобів забезпечує адекватну оцінку стану і динаміки приповерхневих геологічних середовищ. Отримані в агломерації м.Калуш результати підтверджують його високу геологічну інформативність і доцільність використання високочастотних модифікацій методу зондувань нестационарними ЕМ полями в геолого- геофізичному комплексі екологічного моніторингу.

Вагомою перевагою електромагнітних методів, загалом, і розробленого комплексу, зокрема,

є його мінімальний, неруйнівний вплив на властивості (механічні) досліджуваного середовища, а також можливість виявляти процеси його деградації у початковій стадії, коли запобіжні заходи найефективніші за мінімальних матеріальних витрат.

Отримані результати дозволяють виділити низку першочергових завдань, актуальних з погляду екологічної безпеки об'єктів, розташованих в межах гірничого відведення, зокрема:

– провести комплексні, зокрема ЗСБ-ВЧ, детальні спостереження на території, що прилягає до

західного борту Домбровського кар'єру з метою визначення вірогідності різкої активізації фільтраційно-суфозійних процесів на цій ділянці і забруднення річкового басейну;
– розширити мережу орієнтованих по широті профілів, картувати розташування найбільше забруднених ділянок і проводити їх систематичний контроль засобами електромагнітного моніторингу.

Література

- Дешиця С., Шамотко В., Неганова О. Комплексні засоби дослідження геосередовищ нестационарними електромагнітними полями // Праці наукового товариства ім. Шевченка. Том 8. – Львів, 2002. – С. 18–24.
- Кобзова В.М., Дешиця С.А., Ладанівський Б.Т., Мороз І.П. Фізичне моделювання електромагнітних полів у геологічному середовищі. – К.: Наукова думка, 2008. – С. 110–151.
- Луковскі Я., Підвірний О. Автоматична установка для 3D-електротомографії // Геодинаміка 2 (11) / 2011. – С. 173–174.
- Матвеев В.С. и др. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1985. – 109 с.
- Могилатов В. С., Злобинский А.В., Балашов Б. П. Малоуглубинные зондирования вертикальными токами // „Инженерная геофизика 2013” (9-я международная конференция и выставка) 22 – 26 апреля 2013г. Геленджик, Россия.
- Патент N1347064. Устройство для геоэлектроразведки, а. с. СССР, Бюл.№39, 1987. Авторы: Мороз И.П., Пидвирный О.И., Гавришкевич Н.В., Шамотко В.И.
- Патент N9443. Пристрій для моделювання нестационарних електромагнітних процесів, 1996.
- Патент Р.Ф. N1062631. Способ геоэлектроразведки, Могилатов В.С.
- Патент України N48549. Пристрій для геоэлектророзвідки від 25.03.2010, Бюл. №6, Авторы: Дешиця С.А., Підвірний О.І., Романюк О.І.
- Патент України N51550. Спосіб геоэлектророзвідки від 26.07.2010, Бюл.№14, Авторы: Дешиця С.А., Підвірний О.І.
- Патент України №40624. Спосіб організації каталогу електронного диску від 27.04.2009, Бюл. №8. Авторы: Підвірний О.І.
- Підвірний О.І. До питання збору і передачі первинних геофізичних даних в автоматизованих системах // Геодинаміка 2 (15) / 2013. – С. 286–288.
- Романюк О.І., Шамотко В.І., Дешиця С.А., Дутко Р.Б., Кусайло Р.І. Електромагнітне діагностування забруднення водоносного горизонту на прилеглих до Домбровського кар'єру територіях // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2009. – №1(19). – С. 24–31.
- Сидоров В.А. Импульсная индуктивная электроразведка. – М., 1985. – 185 с.
- Шамотко В.И., Дешиця С.А., Петровский А.Л., Неганова О.А. Исследование состояния земляных дамб и плотин индукционными зондированиями // Вісник Українського будинку економічних та науково-технічних знань – К.: Тов-во «Знання» України, 1999. – № 2. – С. 126–133.
- Шамотко В.І., Дешиця С.А. Дослідження динаміки процесу карстоутворення на шахтних полях калійних рудників. В кн.: Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / За ред. В.І. Старостенка. – К.: Наукова думка, 2005. – С. 210–232.
- Шамотко В.І., Дешиця 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.
- Шуровський О.Д., Анікеєв С.Г., Шамотко В.І., Дешиця С.А., Ніколаєнко О.А., Поплюйко О.Г. Геофізичний моніторинг екобезпечних геологічних процесів агломерації м. Калуша // Мінеральні ресурси України. Науковий журнал, №2, 2012. – С. 31–38.
- Kamenetsky F., Stettler E., Trigubovich G. Transient geo-electromagnetics Munich, 2010, 306p.
- Loke M.H. 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2011, p.128
- Philip Kearey, Michael Brooks, Ian Hill An Introduction to Geophysical Exploration, 3rd Edition March 2002, Wiley-Blackwell ISBN: 978-0-632-04929-5 272 pages
<http://uk.wikipedia.org/wiki/GSM>

С.А. ДЕЩЫЦЯ, О.И. ПИДВИРНЫЙ, О.И. РОМАНЮК, Л.Г. САВКИВ

Карпатское отделение Института геофизики им. Субботина Национальной академии наук Украины, ул. Наукова 3-б, г. Львов, Украина, 79060 тел. +38(032)2648563, эл. почта carp@cb-igph.lviv.ua

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ПРОБЛЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРЕДКАРПАТЬЯ

Цель. Целью работ является разработка комплекса аппаратно-методических средств и организация электромагнитного мониторинга экологически проблемных объектов на базе модификаций электроразведки. Основные объекты наблюдений: земляные дамбы, ореолы загрязнения подземных вод, шахтные поля рудников, инженерно-геологические объекты. **Методика.** Создан и апробирован на проблемных территориях региона (Яворив, Стебнык, Калуш и др.) быстродействующий технологический комплекс, позволяющий выполнять малоглубинные классические электромагнитные зондирования геологических сред и другие модификации электроразведки на максимально высоких частотах, когда токами смещения еще можно пренебрегать. Выбор, оптимизация систем наблюдения для проведения измерений и интерпретация полевых материалов осуществляется с учетом данных математического и физического моделирования реальных ситуаций. За пространственным распределением электропроводности уверенно выделяются все важные элементы соответствующих геологических разрезов, а также изменения, обусловленные негативными процессами. **Результаты.** Получены геоэлектрические разрезы на ряде проблемных объектов горно-промышленного комплекса г. Калуш, по которыми даны оценки состояния геологической среды, наличия и степени развития негативных процессов за последние годы. **Научная новизна.** По пространственным характеристикам электромагнитных полей и их трансформаций в удельное сопротивление на количественном уровне определены геоэлектрические параметры объектов исследования и их динамика. Созданы технологические средства для оценки и учета в интерпретационных построениях несовпадения геоэлектрических границ с литологическими в зонах постепенного загрязнения подземных вод отходами калийного производства, которые базируются на совмещении профильных (площадных) наблюдений с электромагнитными зондированиями над имеющимися наблюдательными гидрологическими скважинами. **Практическая значимость.** Метрологические характеристики устройств, в частности, высокие помехоустойчивость и локальность измерений позволяют получать достоверные данные в условиях высокого уровня электромагнитных помех (сетевых, промышленных). Весомым преимуществом предложенного технологического комплекса является его минимальное влияние на механические свойства исследуемой среды, а также возможность выявлять процессы ее деградации в начальной стадии, когда предупредительные меры наиболее эффективны при минимальных материальных затратах.

Ключевые слова: геологическая среда, фильтрационный процесс, загрязнения, динамика, электромагнитное поле, зондирование, экология.

S.A. DESCHYTSYA, O.I. PIDVIRNYY, O.I. ROMANYUK, L.G. SAVKIV

Carpathian branch of Subbotin Institute of geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, 3-b Naukova street 79060, Lviv, Ukraine, 79060 tel./fax +38(032)2648563, e-mail carp@cb-igph.lviv.ua

ELECTROMAGNETIC MONITORING OF ENVIRONMENTALLY PROBLEMATIC OBJECTS IN PRECARPATHIANS: RESULTS AND TECHNOLOGICAL MEANS USED

Purpose. Designing both the apparatus and methodical means based on the classical methods of electroprospecting and their modification. Using this set for an electromagnetic monitoring of environmentally problematic objects. The objects to be observed are ground dams, haloes of underground water pollution, mine fields, geotechnical objects. **Methodology.** High-speed technological set was created and had been studying in the environmentally problematic areas in pre-Carpathians (Yavoriv, Stebnyk, Kalush etc.). It allows to perform both the classic shallow geoelectrical soundings of geological media and their higher frequency modifications provided displacement currents are to be still negligible. Choosing and optimization of the observation systems to measure and to interpret field data obtained considering both numerical and physical modeling data of real cases. Electric conductivity spatial distribution represents all the appropriate geological sections and changes caused by negative processes development. **Results.** Geoelectric sections for number of problematic mining and industry objects in Kalush region were obtained. The state of geological medium, availability and degree of

negative processes development in recent years were evaluated. **Originality.** Basing on the spatial characteristics of electromagnetic fields and their transformation to the apparent resistivity the geoelectrical parameters of objects examined and their temporal changes (dynamics) were determined at the quantitative level. The technological means of estimating and considering of geoelectric and lithological boundaries disparity during inversion were created and tested in the areas of progressive pollution of underground waters by wastes of potassium production. They are based on combination of profile (area) electromagnetic observation with the data from observatory hydrological boreholes. **Practical significance.** A significant advantage of technological set to be offered is minimal, non-destructive influence on the mechanical properties of medium investigated. Another feature is ability to detect the processes of medium degradation at an early stage when prevent measures are the most effective at the lowest cost yet. Metrological characteristics of apparatuses proposed, its noise immunity and locality of measurements in particular, permits to obtain credible results despite the high level electromagnetic interferences both the industrial and from the power grids.

Keywords: geological medium, filtration process, pollution, dynamics, electromagnetic field, soundings, ecology

REFERENCES

- Deshchytsya S., Shamotko V., Nehanova O. *Kompleksni zasoby doslidzhennya heoseredovyshch nestatsionarnymy elektromahnitnymy polygamy* [Comprehensive research methods of geomedia by transient electromagnetic fields]. V sb. *Pratsi naukovohto tovarystva im. Shevchenka. Proceedings of the Scientific Society named after T. Shevchenko*, Vol8, L'viv, 2002, pp.18–24.
- Kobzova V.M., Deshchytsya S.A., Ladanivs'kyy B.T., Moroz I.P. *Fizychne modelyuvannya elektromahnitnykh poliv u heolohichnomu seredovyshchi* [Physical modelling of electromagnetic fields in the geological media]. *Kyyiv, Naukova dumka*, 2008, pp.110–151.
- Lukovski Ya., Pidvirnyy O. *Avtomatychna ustanovka dlya 3D elektrotomohrafiyi* [3-D automatic setup of ERT (Electrical Resistivity Tomography) system]. *Heodynamika - Geodynamics*, 2 (11)/2011, pp.173–174.
- Matveev V.S. i dr. *Metody geofiziki v gidrogeologii i inzhenernoy geologii* [Geophysical methods in hydrogeology and engineering geology]. *M.: Nedra*, 1985, 109 p.
- Mogilatov V. S., Zlobinskiy A.V., Balashov B. P. *Maloglubinnye zondirovaniya vertikal'nymi tokami* [Shallow soundings by vertical currents]. „Inzhenernaya geofizika 2013” (9-ya mezhdunarodnaya konferentsiya i vystavka) 22 – 26 aprelya 2013g. Gelendzhik, Rossiya
- Patent N1347064. *Ustroystvo dlya geoelektrozvedki* [Device for geoelectrical prospecting], a. s. SSSR, Byul. N39, 1987. Avtory: Moroz I.P., Pidvirnyy O.I., Gavrishkevich N.V., Shamotko V.I.
- Patent N9443. *Prystriy dlya modelyuvannya nestatsionarnykh elektromahnitnykh protsesiv* [Device for modelling of non-stationary electromagnetic processes], 1996.
- Patent R.F. N1062631. *Sposob geoelektrozvedki* [Method of geoelectrical prospecting], Mogilatov V.S.
- Patent Ukrayiny N48549. *Prystriy dlya heoelektrozvidky* [A device for geoelectrical prospecting] vid 25.03.2010, Byul.N6, Avtory: Deshchytsya S.A., Pidvirnyy O.I., Romanyuk O.I.
- Patent Ukrayiny N51550. *Sposib heoelektrozvidky* [Method of geoelectrical prospecting] vid 26.07.2010, Byul.N14, Avtory: Deshchytsya S.A., Pidvirnyy O.I.
- Patent Ukrayiny N40624. *Sposib orhanizatsiyi katalohu elektronnoho dysku* [Method for setting up of electronic disk catalog] vid 27.04.2009, Byul. N8. Avtory: Pidvirnyy O.I.
- Pidvirnyy O.I. *Do pytannya zboru i peredachi pervynnykh heofizychnykh danykh v avtomatyzovanykh systemakh* [On the issue of data collection and transmission of the original geophysical data in automated systems]. *Heodynamika - Geodynamics*, 2(15)/2013, pp. 286–288.
- Romanyuk O.I., Shamotko V.I., Deshchytsya S.A., Dutko R.B., Kusaylo R.I. *Elektromahnitne diahnostuvannya zabrudnennya vodonosnoho horyzontu na prylyhlykh do Dombrovs'koho kar'yeru terytoriyakh* [Electromagnetic diagnosis of water-bearing horizon on areas neighbouring Dombrowski career]. *Naukovyy visnyk Ivano-Frankivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu – Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*, 2009, no1(19), pp. 24–31.
- Sidorov V.A. *Impul'snaya induktivnaya elektrozvedka* [Inductive impulse electroprospecting]. Moscow, 1985, 185 p.
- Shamotko V.I., Deshchitsa S.A., Petrovskiy A.L., Neganova O.A. *Issledovanie sostoyaniya zemlyanykh damb i plotin induktsionnymi zondirovaniyami* [Investigation of ground dams using induction soundings]. *Visnyk Ukrayins'koho Budynku ekonomichnykh ta naukovo-teknichnykh znan' – News of Ukrainian House of economical, scientific and technical knowledge – K.: Tovyrystvo “Znannya” Ukrayiny*, 1999, no2, pp.126–133.

Shamotko V.I., Deshchytsya S.A. *Doslidzhennya dynamiky protsesu karstoutvorenniya na shakhtnykh polyakh kaliynykh rudnykiv* [Studies on the dynamics of karsting in the mine fields of potash mines]. V kn.: *Doslidzhennya suchasnoyi heodynamiky Ukrayins'kykh Karpat. Za redaktsiyeyu V.I. Starostenka – In the book.: Studies of modern geodynamics of Ukrainian Carpathians. Edited by V. Starostenko, Kyiv, „Naukova dumka”, 2005, pp. 210–232.*

Shamotko V.I., Deshchytsya S.A., Petrovs'kyi A.L., Romanyuk O.I., Dutko R.B. *Elektromahnitni doslidzhennya aktyvizatsiyi tekhnohennoho karstu na terytoryyakh vydobutku kaliynykh i sirchanykh rud Peredkarpattya* [Electromagnetic studies on the activation of anthropogenic karst on the areas of potash and sulfur ore mining in Precarpathians]. *Ekolohiya dovkillya ta bezpeka zhyttyediyal'nosti. Environmental ecology and life safety*. Kyiv.: T-vo „Znannya” Ukrayiny. 2002, no 4.

Shurovs'kyi O.D., Anikyeyev S.H., Shamotko V.I., Deshchytsya S.A., Nikolayenko O.A., Poplyuyko O.H. *Heofizychnyy monitorynh ekonebezpechnykh heolohichnykh protsesivv ahlomeratsiyi m. Kalusha* [Geophysical monitoring of environmentally threatened geological processes in agglomeration of Kalush town]. *Mineral'ni resursy Ukrayiny, Naukovyy zhurnal – Mineral Resources of Ukraine, Scientific journal*, no2, 2012, pp. 31–38.

Kamenetsky F., Stettler E., Trigubovich G. *Transient geo-electromagnetics* Munich, 2010, 306 p.

Loke M.H. *2-D and 3-D electrical imaging surveys*, 2011, p. 128

Philip Kearey, Michael Brooks, Ian Hill *An Introduction to Geophysical Exploration*, 3rd Edition March 2002, Wiley-Blackwell ISBN: 978-0-632-04929-5 272 pages

<http://uk.wikipedia.org/wiki/GSM>

Надійшла 6.05 .2014 р