

РОЗВІДУВАЛЬНА ТА ПРОМИСЛОВА ГЕОФІЗИКА

УДК 550.83 (477.8)

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ПРОРИВАННЯ РІЧКИ СІВКА В ДОМБРОВСЬКИЙ КАР'ЄР КАЛУШ-ГОЛИНСЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНОЇ СОЛІ

С.М.Багрії

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504761,
e-mail: gbg@nung.edu.ua

Пропонується оптимальний комплекс геофізичних методів (ПІЕМПЗ, ВЕЗ, ПЕП) для визначення нестійкої зони, пов'язаної з розвитком карсту в прибортовій частині кар'єру. Наведено результати інтерпретації на основі комплексного підрахунку з використанням інтегрованого параметру – функції комплексного показника (ФКП), яка узгоджується з критерієм імовірності розвитку карсту.

Ключові слова: шахтні поля, екзогенні геологічні процеси, геолого-геофізичні дослідження, карст, кар'єр, інтерпретація, ФКП.

Предлагается оптимальный комплекс геофизических методов (ЕИЭМПЗ, ВЭЗ, ПЭП) для определения неустойчивой зоны, связанной с развитием карста в прибортовой части карьера. Приведены результаты интерпретации на основе комплексного подсчета с использованием интегрированного параметра – функции комплексного показателя (ФКП), согласующейся с критерием вероятности развития карста.

Ключевые слова: шахтные поля, экзогенные геологические процессы, геолого-геофизические исследования, карст, карьер, интерпретация, ФКП.

This article proposes an optimum complex of geophysical methods (PIEMTS, VES, PEP) for determining unstable zone related to the development of karst in edge part of the career. The results of the interpretation, based on the complex calculation using the integrated option – function of a complex index (FCI), which is consistent with the criterion of probability of karst are given.

Keywords: mine fields, exogenous geological processes, geophysical researches, karst, career, interpretation, FCI.

Вступ

Останніми роками в межах Калуш-Голинського родовища калійної солі спостерігається тенденція до активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів, у тому числі, зсувів, просідання поверхні землі, карстопровальних явищ.

Карстові провалля утворюються як на території шахтних полів, так і в прибортових частинах Домбровського кар'єру. Особливо небезпечною є територія, яка розташована між р. Сівкою (на півночі) та бортом кар'єру (на півдні). Карстопровальні явища набули значної інтенсивності і розповсюджуються від борту кар'єру на північ. При цьому під загрозою знищення опинився дачний масив. Крім того, вимальовується перспектива проривання р. Сівка в кар'єр.

Загальні відомості щодо ділянки досліджень

Видобування калійної солі здійснювався двома способами: відкритим (Домбровський кар'єр) і шахтним (копальня «Калуш» та «Ново-Голинь»).

Домбровський кар'єр експлуатується з 1967 р. На кар'єрі роботи велись за транспортною системою розробки з транспортуванням автосамоскидами розкривних порід на зовнішні і внутрішні відвали, руди – до дробарного цеху. Розпушення руди і скельних розкривних порід проводилось буро-вибуховим способом.

Пухкі розкривні породи розроблялись чотирма уступами висотою до 10 м з організацією селективної виїмки ґрунтово-рослинного шару, суглинків, гальковиків і гіпсо-глинистої „шляпи" (ГГШ), скельні розкривні породи та рудний поклад – уступами висотою до 15 м (рис. 1).

За весь період експлуатації з Домбровського кар'єру видобуто 35,4 млн. м³ розкривних порід



Рисунок 1 – Вихід порід у північний борт Домбровського кар'єру



Рисунок 2 – Притік води з гравійно-галькового водоносного горизонту в кар'єр

і 14,7 млн. м³ калійної руди, разом 50,1 млн. м³ гірничої маси. Експлуатація кар'єру припинена в 2007 р. На даний час він затоплюється природним способом. Механізм утворення соляних розсолів у Домбровському кар'єрі – це результат взаємодії атмосферних опадів з соляними породами, його об'єм залежить від кількості опадів і площі водозбору.

До 2008 р. об'єм води, що поступала в кар'єр, перехоплювався дренажною траншеєю, частково відкачувався з кар'єру. З 2008 р. відкачування з дренажної траншеї та із кар'єру припинилося, тобто в 2008 році майже вдвічі збільшилась площа водозбору атмосферних опадів за рахунок зовнішніх відвалів №1 і №4 та внутрішньокар'єрної смуги, прилеглої до внутрішнього борту кільцевої дренажної траншеї (КДТ). На сьогоднішній день площа водозбору атмосферних опадів становить 360–380 га. З урахуванням середньорічної кількості опадів

– 700 мм, поступлення вод у кар'єр тільки за рахунок атмосферних опадів становить 1.1–1.5 млн. м³ на рік [1]. Крім цього, з припиненням відкачування дренажних вод у зовнішні водойми весь притік води з гравійно-галькового водоносного горизонту (1.5–2 млн. м³) спрямований у кар'єр (рис. 2).

Таким чином, загальний щорічний притік вод у кар'єр сягнув 3.5 млн. м³ на рік.

На сьогоднішній день незаповненим залишається простір об'ємом 41 млн. м³; до підшви водоносного горизонту – приблизно 24 млн. м³.

По зовнішньому борту дренажної траншеї в північно-західній частині Домбровського кар'єру почав утворюватись карст, що має тенденцію до розвитку в бік р. Сівки, тобто виникає небезпека проривання вод р. Сівка в кар'єр. Карстові провалля зображені на рис. 3-4.



Рисунок 3 – Карстові провалля у північній частині Домбровського кар'єру



Рисунок 4 – Карстове провалля у північно-західній частині Домбровського кар'єру

Геологічна характеристика ділянки досліджень

У межах Домбровського кар'єру та його флангів геологічний розріз порівняно витриманий. Це ілюструє рис. 5, на якому зображено розріз, що простягається на 60-80 м південніше геофізичного профілю вздовж борту кар'єру. З розрізу видно, що породи зверху вниз представлені ґрунтово-рослинним шаром потужністю до 1-2 м, далі зверху вниз залягають: суглинки з включенням глини і пісків потужністю 3-5 м; водоносний горизонт гравійно-галькових відкладів із домішками піску потужністю 10-15 м; гіпсо-глиниста «шляпа», яка утворилась на поверхні соляних порід (засолених глини) шляхом вивітрювання. Породи ГГШ засолені, потужністю 1,5-10 м. Породи ці вважаються водоупором, який захищає від розмивання соляні породи. Зменшення потужності тут до перших метрів – аномальне явище. Під ГГШ знаходяться пласти калійної або кам'яної солі. Калійна сіль складається з таких мінералів: галіт – 35%, каїніт – 22%, лангбейніт – 9,5%, сільвін – 5%, кізерит – 5,5%, полігаліт – 4,5%, ангідрит – 1,5%, шеніт, леоніт та інші – 1% та нерозчинний залишок – 14%. Породи кам'яної солі представлені окремим ціликом, вміст NaCl у середньо-

му 45%, в деяких місцях до – 80%. Потужність соляних порід – до 140 м. Нижче соляних порід залягає піщано-глиниста брекчія.

За наявності дренажної траншеї підземні води гравійно-галькового горизонту, дренаються нею, стікали у водозбірники і відкачувались у річну мережу. Об'єм відкачуваної води складав залежно від кількості опадів 1,5-2 млн. м³ на рік. Під час спорудження траншеї з метою створення необхідного нахилу частину ГГШ було зрізано, а в деяких місцях – підсипано (рис. 5). Крім водовідведення дренажна траншея захищала від розвитку карсту.

На початку 90-х рр. траншея (у межах рис. 5) була знищена для того, щоб розширити кар'єр. Це було помилкою, тому що під час вибухово-розкривних робіт малопотужна ГГШ, що прилягала до північного борту, була порушена. Північніше на 200–250 м від нинішнього борту кар'єру тече в штучному руслі р. Сівка. Штучне русло, створене в суглинках глибиною до 2-3 м. Незначний шар суглинків, що залишався в штучному руслі, не створював надійного захисту, тому вода р. Сівки в певному об'ємі (цей об'єм невідомий) потрапляла у водоносний гравійно-гальковий горизонт і прямувала разом з дощовими інфільтрованими водами у кар'єр покрівлю ГГШ. Однак ця «шляпа»

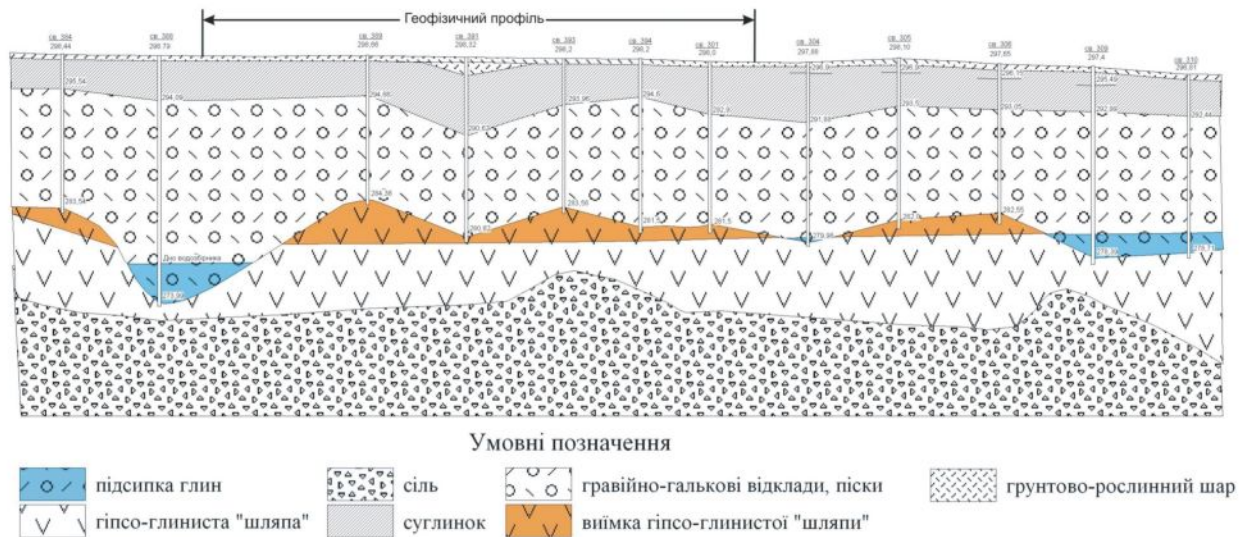


Рисунок 5 – Геологічний розріз фрагменту профілю вздовж дренажної кільцевої канави

через незначну потужність була пошкоджена, і вода проникла до заглиблених пластів калійної солі і легко розмивала їх. Так само вона розмиває ці пласти в похилих бортах кар'єру.

Зазначені процеси призвели до утворення лійок у краєвих ділянках кар'єру та обвалів породи в окремих місцях біля північного борту. Оскільки процес карстоутворення безперервний, а пласти солі розповсюджуються далі на північ, слід вважати, що карстопровальні явища будуть розвиватись далі на північ, пошкодять (або знищать) дачні ділянки, а згодом можуть досягти р. Сівки. У процесі розмивання солі будуть просідати породи водоносного горизонту, суглинків, ґрунтового-рослинного шару. Тому існує загроза створення нового русла р. Сівки, яке з'єднає теперішнє русло з кар'єром. Перевищення денної поверхні між кар'єром і річкою по висоті над руслом р. Сівка складає максимум 2,5-3 м.

Слід зауважити, що в даний час кар'єр заливається дощами і підземними водами з швидкістю приблизно 3,5 млн. м³ на рік. Для того, щоб рівень у кар'єрі досяг підшови гравійно-галькового горизонту, треба заповнити об'єм 24 млн. м³. На це знадобиться 24:3,5=7 років. Тоді вода з кар'єру «підіпре» водоносний горизонт, карстові процеси будуть сповільнені, але солі в бортах кар'єра будуть обов'язково частково розчинені. Якими при цьому будуть кути скосу – невідомо, однак зрозуміло, що борти будуть виположені, а дачні ділянки здебільшого опиняться під водою.

Фізичні передумови дослідження карсту геофізичними методами

Для дослідження карсту і руху підземних вод можна застосувати різні геофізичні методи. Для обґрунтування геофізичних досліджень використовують такі передумови, як випромінювання електромагнітного поля поблизу досліджуваного об'єкта, диференціація гірських порід та пустот за питомим електричним опо-

ром, за фільтраційним електричним потенціалом, природним електричним потенціалом.

Електромагнітне поле Землі. За методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМІПЗ) діагностика напруженого стану здійснюється шляхом дистанційного вимірювання швидкості випромінювання імпульсів електромагнітного поля поблизу досліджуваного об'єкта [2]. При цьому використовуються частоти майже звукового діапазону 0,1-50 кГц. У пористих середовищах спостерігається залежність діелектричної проникності від питомої поверхні пор і зовнішньої електричної поляризації. Враховуючи, що при деформації в діелектриках виникає саме додаткова електрична поляризація, варто очікувати резонансної поведінки діелектричної проникності на низьких частотах, які використовуються в методі ПЕМІПЗ. Зміна частоти у зв'язку зі зміною напруженого стану, тобто дисперсія, виникає за рахунок зміни упорядкованості елементів середовища. Іншими словами, механічні напруження вносять свої корективи до будови середовища, створюючи додаткову поляризацію. Додаткова поляризація обумовлює резонансну взаємодію середовища з зовнішнім електромагнітним полем. Це є основою застосування методу ПЕМІПЗ.

Відомо, що пласт порід, який знаходиться над пустотою, перебуває у напружено-деформованому стані. Якщо провести аналогію з бальною, що стоїть на двох опорах, розміщених по її краях, то найбільший напружено-деформований стан буде в її центрі, а найменший – по її краях. Отже, слід очікувати збільшення частоти випромінювання імпульсів електромагнітного поля в центрі пустоти і спад частоти випромінювання по краях пустоти.

Питомий електричний опір ρ_n у різних гірських порід змінюється в дуже широких межах – від тисячних часток Ом-метрів у самородних металів до багатьох мільярдів Ом-метрів у таких ізоляторах, як слюда, кварц та ін. [3, 4].

Основними чинниками, що визначають питомий електричний опір теригенних засолених порід Калуш-Голинського родовища є:

1. Опір порід. Значною мірою залежить від опору води, що заповнює пори. Опір вільної води обернено пропорційні концентрації розчинених у ній солей. Зі зростанням загальної мінералізації води від 0,1 до 10 г/л її опір зменшується від 100 до 1 Ом·м. Опір зв'язаної води нижчий, ніж вільної у кілька десятків разів. Це пов'язано з більшою концентрацією в ній іонів.

2. Пористість, а також текстура й структура породи. Впливають на її питомий електричний опір. Чим більша пористість і менш ущільнена порода, тим краще вона проводить електричний струм. Це пов'язане з тим, що зі збільшенням пористості зростають кількість поверхневої води та ймовірність перебування в порах вільної води.

3. Вологість і водонасиченість порід. Так, суха глина хоч і володіє більшою пористістю, має великий опір (до 1000 Ом·м). Та ж глина, насичена водою, має ρ у сотні разів менший. Важливу роль відіграє також співвідношення між вільною водою та фізично зв'язаною, тому що їхня електропровідність різна. Чим більше в породі зв'язаної води, що добре проводить струм (наприклад, у глині), тим нижчий її опір.

За наявності пустот слід очікувати таку поведінку питомого електричного опору:

пустота не завалена і заповнена повітрям – оскільки повітря є діелектриком, то питомий електричний опір буде високий;

пустота частково завалена – питомий електричний опір менший у порівнянні з попереднім варіантом;

пустота заповнена водою – залежно від хімічного складу води та її мінералізації питомий електричний опір може набувати різних значень.

Диференціація за питомим електричним опором, гірських порід, що карстуються, використовується у методах вертикальних електричних зондуваннях (ВЕЗ), електропрофілювання (ЕП), зондування становленням поля (ЗС).

Фільтраційний електричний потенціал. Електричним параметром, який може бути використаний для картування фільтраційних потоків, є фільтраційний електричний потенціал, який є наслідком електрокінетичних процесів, що супроводжують фільтрацію підземних вод крізь пори гірських порід. Механічне переміщення рідини в гірських породах зумовлює переміщення електричних зарядів, а останнє призводить до утворення електричного поля. Тому фільтраційні потоки в зонах інфільтрації супроводжуються від'ємним потенціалом, далі в напрямку фільтрації потенціал поступово зростає і ексфільтрації (вихід води на поверхню) або близько від них супроводжується додатнім потенціалом електричного поля. Ці потенціали можуть сягати в залежності від інтенсивності фільтраційного потоку і мінералізації підземних вод перших десятків мВ [5].

Фільтраційні потоки на ділянках розвитку карсту пов'язані з пустотами, розломами та ру-

слами річок, що дає можливість методом природного електричного поля (ПЕП) картувати ці явища.

Природний електричний потенціал. Останнім часом при розв'язанні інженерно-геологічних задач використовується так званий механоелектричний потенціал. Помічено, що збільшення механічного тиску в гірських породах веде до появи електричного потенціалу.

Цей процес описується простою формулою:

$$U = K_{\text{ме}} \cdot \Delta P, \quad (1)$$

де: U – механоелектричний потенціал, $K_{\text{ме}}$ – коефіцієнт механоелектричних перетворень, ΔP – приріст тиску. Очевидно, що процес фільтрації підземних вод супроводжується зміною тиску, отже можлива реєстрація аномалій потенціалу природного електричного поля. Цей феномен та його практичне використання описані в [6]. Крім того, можлива зміна механоелектричного потенціалу за наявності пустот. Аномалії сягають сотні мілівольт і реєструються методом ПЕП.

Комплексна інтегрована інтерпретація даних геофізичних досліджень

Серед параметрів, які визначають карсто-небезпеку, розглянемо класи вихідних та ефективних параметрів.

До класу простих вихідних параметрів відносимо всі можливі параметри, які, по-перше, отримані безпосередньо за даними польових спостережень, первинної обробки чи кількісної інтерпретації за окремими методами. До складових вихідних параметрів відносимо ті, що отримані з простих шляхом деяких простих арифметичних перетворень чи трансформацій вихідних даних.

До класу ефективних параметрів відносимо ті параметри, які з фізичної точки зору, а також за результатами статистичної обробки виявились найбільш ефективними для прогнозування карсто-небезпеки та прийняті до інтегральної кількісної комплексної інтерпретації. При обґрунтуванні ефективних параметрів витримується принцип представлення в комплексній інтерпретації незалежних параметрів (один параметр від одного методу) для того, щоб не надавати окремому методу чи параметру вагової переваги під час формування функції комплексного показника. Ефективні параметри не повинні бути комплексними, тобто складатись з комбінацій простих параметрів, які самі по собі можуть відігравати роль ефективних.

Метод вертикальних електричних зондувань.

За даними кількісної інтерпретації ВЕЗ визначаються такі вихідні параметри як h_i і ρ_i . Вони є основою для розрахунку комплексного параметра еквівалентного електричного опору - $\rho_{\text{екв}}$ карстуючої товщі. Цей параметр визначається за формулою

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} h_i}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{h_i}{\rho_i}}, \quad (2)$$

де i – порядковий номер потужностей товщі і відповідного еквівалентного опору. У даному конкретному випадку параметром, який відповідає за розвиток карстових процесів є електричний опір гіпсо-глинистої «шляпи» та зазначених глин (рудної породи), що залягають на контакті «шляпи» і глин, а також потужність цього горизонту.

Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі.

В основу методу ПЕМПЗ покладено ефект генерації електромагнітних імпульсів гірськими породами під дією механічних напружень [7, 9]. Величина механічних напружень визначає швидкість випромінювання електромагнітного поля, тобто кількість імпульсів за одиницю часу, але одночасно з корисним сигналом реєструється і сигнал-завада, пов'язаний з техногенною діяльністю людини (в основному це промислові струми), а також з електромагнітними полями іншого походження (атмосферичні, магнітотелуричне поле). Тому під час досліджень поряд з польовим приладом необхідне використання приладу на контрольній точці, який реєструє варіації. Алгоритм обробки даних за такою методикою роботи викладений в роботі [8]. Аналіз карт свідчить, що найбільш диференційованою за рівнем інтенсивності поля є карта I_z . Тому цей параметр розглядається як ефективний.

Метод природного електричного поля.

Основним джерелом виникнення природних потенціалів є фільтрація підземних вод в породах, що залягають вище дзеркала ковання [10]. За нашою гіпотезою, електричні потенціали, що супроводжують фільтраційні потоки, виникають внаслідок двох основних причин. Перша – це схема потенціалів течії. Другою причиною є механо-електричні перетворення, які реалізуються при зміні механічної напруги в гірських породах, що вміщують фільтраційний потік, за рахунок зміни тиску вздовж потоку. Сумарне природне електричне поле розглядається як суперпозиція поля течії U_1 та поля тиску U_2 : $U=U_1+U_2=(\lambda_1 + \lambda_2)\Delta P$, де ΔP – приріст гідравлічного напору, λ_1 і λ_2 – коефіцієнти фільтраційно та механо-електричного перетворення. Щодо знаків коефіцієнтів зауважимо, що λ_1 має від'ємний знак в зонах фільтрації і додатний знак в зонах розвантаження. Вздовж шляху фільтрації потенціал зростає. Коефіцієнт λ_2 завжди додатний.

При опрацюванні карт розподілу ПЕП перший етап трансформації потенціалів полягає у вилученні регіональної аномалії. Ця аномалія диктується рельєфом. Для усунення впливу рельєфу на результати досліджень методом ПЕП рахувались залишкові аномалії по кожній ізогіпсі денної поверхні. Спочатку розраховувались для кожної ізогіпси середні значення $\Delta U_{\text{сер}}$, по-

тім залишкові $\Delta U_{\text{зал}} = \Delta U_i - \Delta U_{\text{сер}}$, які інтерполювались на регулярну сітку.

Узагальнений перелік вихідних та ефективних параметрів по групах наведено на рис. 6.



Рисунок 6 – Схема комплексної інтегрованої інтерпретації геофізичних даних

Отже, до групи вихідних параметрів належать:

- питомий електричний опір ρ_i та потужність h_i геоелектричних горизонтів,
- напруженість електромагнітного поля Землі (I_X та I_Y);

– значення природних потенціалів ΔU .

До ефективних параметрів відносимо:

- еквівалентний опір $\rho_{\text{екв}}$ порід ГГШ;
- потужність шару ГГШ;
- коефіцієнт анізотропії електромагнітного поля χ ;

– залишкові значення природних потенціалів $\Delta U_{\text{зал}}$.

Кореляційні зв'язки ефективних параметрів здебільшого відповідають їх фізичній змістовності щодо відображення карстонебезпеки на якісному рівні, тобто за знаками кореляції. Проте ці зв'язки (коефіцієнти парної кореляції) у більшості не є істотними. Це свідчить про низький рівень корисного сигналу, тобто сигналу на фоні сигналів-завад. Ці сигнали-завади

є наслідком структурно-геологічної неоднорідності масивів гірських порід, що підлягають дослідженню. Єдиним виходом в даній ситуації є застосування інтегрованої кількісної комплексної інтерпретації.

Під час комплексної інтерпретації використаний інтегральний метод розрахунку функції комплексного показника, запропонований вперше для дослідження екзогенних геологічних процесів (зсувів) Кузьменком Е.Д. [11].

Ідея реалізації ФКП полягає в тому, що інформація по кожному методу містить в собі як корисний сигнал, так і сигнал-заваду. Корисний сигнал має регулярний характер зміни для всіх методів, що є функцією карстонебезпеки, в той час, коли сигнал-завада розподіляється випадково. При розрахунку ФКП корисний сигнал однозначно сумується, а сигнал-завада взаємно знищується.

Послідовність розрахунків така. Спочатку за даними кожного методу обчислюється контрастність аномалії сигналу за формулою:

$$\gamma_{ij} = \frac{A_{ij} - \bar{A}_j}{\sigma_j}, \quad (3)$$

де: A_{ij} – значення (амплітуда) сигналу в i -й точці по j -м методом;

\bar{A}_j – середнє значення параметра за j -м методом на ділянці досліджень;

σ_j – середньоквадратичне відхилення.

$$\bar{A}_j = \frac{\sum A_{ij}}{n}; \quad (4)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{ij} - \bar{A}_j)^2}{n-1}}, \quad (5)$$

де n – кількість значень параметра на ділянці досліджень.

Оскільки значення контрастності параметрів γ_{ij} нормувались за середньоквадратичним відхиленням σ_j , відповідно ϵ_j , безрозмірним, то їх можна представити в інтегральній формі, а

саме у вигляді суми ФКП в кожній точці вимірювань:

$$\theta_i = \sum_{j=1}^p \gamma_{ij} - \sum_{j=1}^k \gamma_{im}, \quad (6)$$

де p та k – кількість параметрів (методів), які дають відповідно додатній та від'ємний ефект над аномальним об'єктом.

Таким чином, обчислення функції комплексного показника передбачає таку послідовність операцій: розрахунок контрастності аномалій сигналу за кожним методом на ділянці досліджень; нормування контрастностей за середньоквадратичним відхиленням; інтегральне представлення нормованих контрастностей.

Кількісний зв'язок величини ФКП θ із карстонебезпекою оцінюється за допомогою ймовірнісного критерію, який в даному випадку названий критерієм імовірності карсту:

$$\sigma = \frac{\theta_i}{\sigma_\theta}, \quad (7)$$

де σ_θ – сигмова межа, що враховує дисперсію параметрів.

Наведемо процедуру аналізу первинних матеріалів, яка призвела до виділення з масиву вихідних параметрів тих, які можуть розглядатись як ефективні під час прогнозування карстонебезпеки. Для цього складена таблиця парної кореляції вихідних параметрів.

З таблиці випливає, що значний внесок у формування ФКП дають параметри h , I_z , $\Delta U_{зал}$, дещо менший вплив параметра ρ

Результати комплексної інтегрованої інтерпретації наведені на рис. 7. На ділянці відмічається дві аномалії за критерієм імовірності, що перевищує 0.6.

Аномалія №1. Аномалія знаходиться на південно-західному боці планшета. Значення P перевищує 0.7. Аномалія витягується нижнім краєм до дороги, узгоджується з усіма ефективними параметрами і пов'язується з карстовим провалля, яке утворилося. Провалля знаходиться поряд з аномалією – північніше від неї.

Таблиця – Матриця коефіцієнтів парної кореляції для вихідних параметрів та ФКП

	h	ρ	U_{зал.}	I_m	ФКП		внесок
h	1	0,43	-0,33	0,36	0,63	0,63	35,00
ρ	0,43	1	0,01	0,40	-0,13	0,13	7,22
U_{зал.}	-0,33	0,01	1	-0,04	-0,60	0,6	33,33
I_m	0,36	0,40	-0,04	1	0,44	0,44	24,44
ФКП	0,63	-0,13	-0,60	0,44	1	1,8	100,00

Умовні позначення:

ФКП – функція комплексного показника;

h – товщина шару ГГШ;

I_m – напруженість природного електромагнітного поля Землі, (напряг I_z);

ΔU_{зал.} – залишкові значення природних потенціалів;

ρ – опір ГГШ.

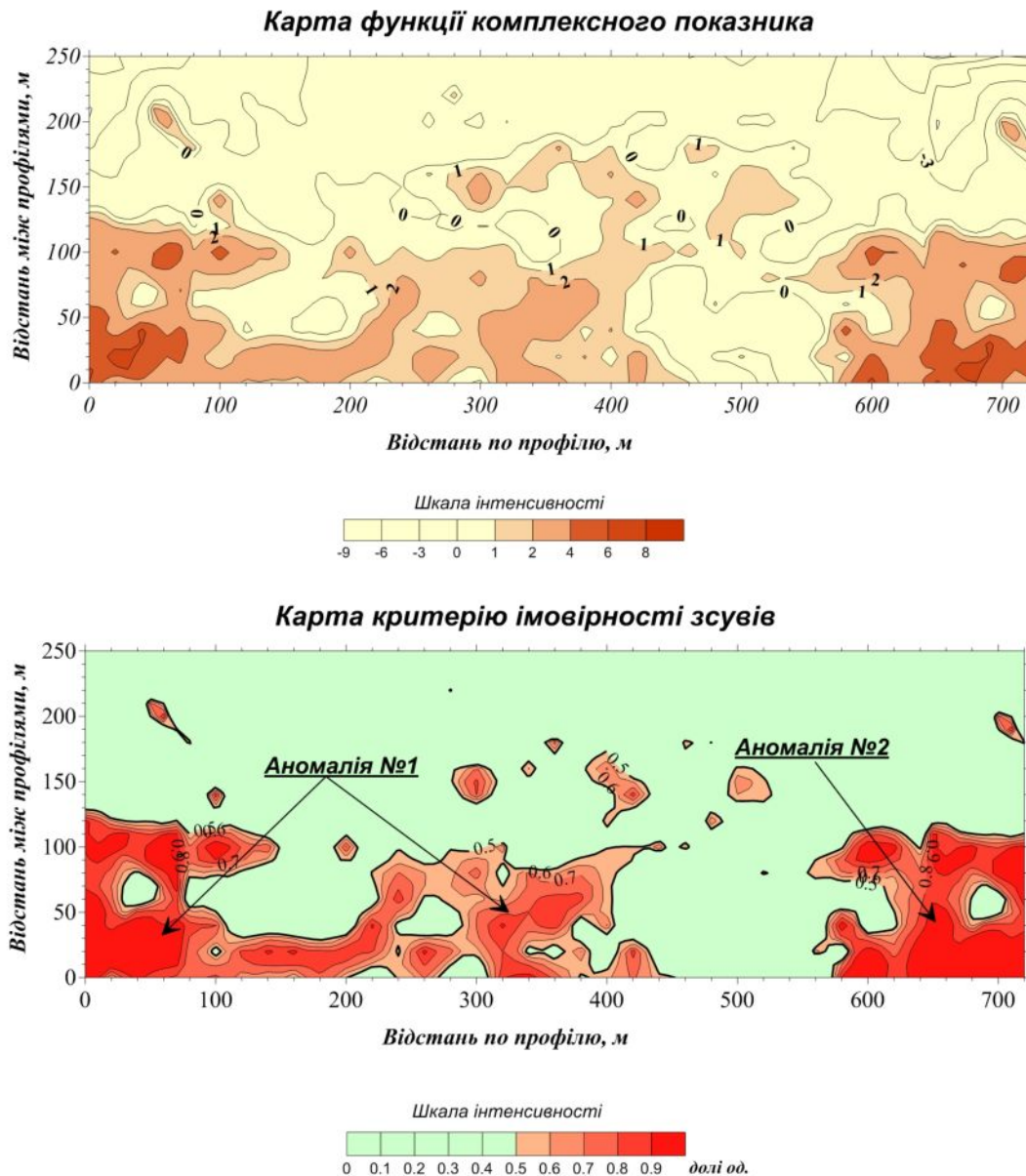


Рисунок 7 – Результати комплексної інтегрованої інтерпретації ефективних геофізичних параметрів, ділянка «Північний борт Домбровського кар'єру»

Аномалія №2 розташована в південно-східній частині планшета. Тут $P > 0.6$. Аномалія узгоджується з параметрами h , $U_{заб}$, I_z . В цій частині карстових проваль не виявлено.

Висновки

Роботи щодо дослідження розвитку карсту на ділянці між Домбровським кар'єром для видобування калійної та кам'яної солі та р. Сівкою зумовлені появою карстопровальних лійок на флангах кар'єру і невизначеною перспективою проривання річки безпосередньо в кар'єр. У даний час відбувається інфільтрація вод р. Сівки у водоносний гравійно-гальковий горизонт і розвантаження у вигляді струмків у кар'єр. Відстань між річкою та кар'єром становить 250 м. Ріка – на північ, борт кар'єру – на південь від ділянки. Ділянка зайнята дачами та городами.

Геологічний розріз є витриманий за кількістю пластів – диференціація полягає в зміні потужностей і фізичних властивостей гірських порід. Пласти калійної солі не виклинюються, як це припускалось за даними буріння, а є суцільними і простягаються від борту кар'єру до річки Сівка.

Інтенсивний розвиток карсту в прибортової північній частині Домбровського кар'єру спровокований трьома причинами:

перша (природна) – неочікувана аномально низька потужність ГГШ на зазначеній території (до 1,5 м.), тобто відсутність надійного захисту від розмивання соляних пластів ґрунтовими водами;

друга – наявність штучного русла р. Сівка, з якого відбувається інфільтрація річкових вод;

третя – порушення ГГШ внаслідок ліквідації дренажної траншеї під час розширення кар'єру на північ – у бік штучного русла р. Сівка.

Слід вважати доведеним, що оптимальним комплексом для визначення нестійкої зони, пов'язаної з розвитком карсту в прибортовій частині кар'єру, є комплекс методів ПЕМПЗ, ВЕЗ, ПЕП, а інтерпретацію слід проводити як за окремими методами, так і на основі комплексного підрахунку з використанням інтегрованого параметру – функції комплексного показника (ФКП), яка узгоджується з критерієм імовірності розвитку карсту.

Геофізичні дослідження за 2009 р. показали, що карстові процеси розвинуті в межах ділянки досліджень від наявних лійок на північ на відстань до 120 м. при цьому карстом уражені південно-західна, південна, південно-східна частини ділянки. У межах виявлених трьох аномалій слід очікувати й надалі появи провалів на денній поверхні. Південно-західна і південна аномалії межують з відомими провалами, південно-східна аномалія поки що провалами не супроводжується.

Надалі провалля будуть розповсюджуватися на північ від відомих лійок у прибортовій частині кар'єру до русла р. Сівка, після того води річки будуть спрямовані в кар'єр. Визначити швидкість розвитку карсту та час проривання р. Сівка в кар'єр за наявними даними неможливо. Для вирішення питання необхідні режимні спостереження. На даний час можна зауважити, що дві аномалії з трьох які, відмічені дослідженнями 2009 р., у дослідженнях 2004 р. не зазначались. Тобто за 5 років маємо розвиток карсту на північ на 120 м.

Література

1 Крижанівський Є.І. Техногенна ситуація в районі Калуського промислового вузла / Є.І.Крижанівський, Е.Д.Кузьменко, Н.В.Палійчук, Б.Т.Бараненко // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2008. – № 2(18). – С. 5-11.

2 Ковальчук С.П. Поставь свой дом правильно (практика геофизического метода ЕИЭМПЗ) / Ковальчук С.П. – Одесса: Черноморце, 2003. – 112 с.

3 Хмелевской В.К. Краткий курс разведочной геофизики: изд 2-е. / Хмелевской В.К. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 287 с.

4 Сейфулін Р.С. Електророзвідка: навчальний посібник / Р.С.Сейфулін, Е.Д.Кузьменко. – Івано-Франківськ: Факел, 2005. – 218 с.

5 Якубовский Ю.В. Электроразведка / Ю.В.Якубовский. – М.: Недра, 1973. – 304 с.

6 Ермаков В.И. Геология и геохимия природных горючих газов: справочник / В.И.Ермаков, Л.М.Зорькин, В.А.Скоробогатов, В.И.Старосельский. – М.: Недра, 1990. – 315 с.

7 Воробьев А.А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах / А.А.Воробьев. – Томск: Изд. Томского ун-та, 1980. – 211 с.

8 Чебан В.Д. Метод природного импульсного электромагнитного поля Земли. Деякі аспекти застосування / В.Д. Чебан // Геофизический журнал, 2001. – Том 23, № 4. – С. 112-121.

9 Хархалис Н.Р. Особенности проявления естественного импульсного электромагнитного излучения на оползневом склоне / Н.Р. Хархалис // Геофизический журнал. – 1994. – Том 16, № 4. – С. 58–61.

10 Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля / А.С.Семенов. – М.: Недра, 1980. – 446 с.

11 Кузьменко Е.Д. Обґрунтування вибору геофізичних, геологічних та геоморфологічних параметрів для оцінки зсувонебезпечності і методика їх комплексної інтерпретації / Е.Д.Кузьменко, Д.Н.Лящук В.Д.Чебан, Л.В.Штогрин // Теоретичні та практичні аспекти геоінформатики: Зб. наук. праць. – Київ, 2005. – С. 333–349.

Стаття поступила в редакційну колегію

22.10.09

Рекомендована до друку професором

Е.Д.Кузьменком