

21 Orlov A.A. Territoires pétroli-gazeifères et les gisements du pétrole et du gas de l'Algérie et l'URSS.- Algérie (Boumerdès): Inst. Nationale des Hydrocarbures, 1972, 99 p.

22 Hast N., Nilson T. Resept rock pressure in mines. – Sver. Geol.undersökn, ser. Arsbok, Stookholm, 1958, v.52, №3 – 193 h with ill.

УДК 550.83 (477.8)

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ ПРИ ГЕОФІЗИЧНОМУ ВИВЧЕННІ КАРСТОВИХ ПРОЦЕСІВ НАД ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ШАХТНИМИ ПОЛЯМИ РОДОВИЩ КАМ'ЯНОЇ ТА КАЛІЙНОЇ СОЛІ

¹Е.Д.Кузьменко, ¹О.П.Вдовина, ¹С.М.Багрій, ²І.Є.Хмара, ³Б.Т.Бараненко

¹ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504761, e-mail: kuzmenko@ivf.ukrpsc.k.net, gbg@nung.if.ua

²Державний науково-дослідний інститут «Галургія», 77300, м. Калуш, вул. Фабрична, 5а, тел. (03472) 21298

³ДП «Калійний завод», ВАТ „Оріана”, 77300, м. Калуш, вул. Промислова 17

Рассмотрены проблемы, и результаты геофизических исследований при изучении естественно-техногенного карста на месторождениях калийной соли в Предкарпатье. Сделаны выводы о причинах и следствиях связи карста с аварийными ситуациями. Предложена методика геофизического исследования карста.

The problems were examined and results of geophysical research of studying nature-technogene karst for potash salt fields in Pricarpathian region were made. The conclusion was made about causes and effects of karst connection the other emergency situation. It was proposed the geophysical method of studying karst process.

Як відомо, видобуток корисних копалин підземним способом викликає порушення рівноваги в товщі гірничих порід, що призводить до осідання та деформування земної поверхні над відробленими покладами. Ці процеси впливають на безпечну експлуатацію будівель, споруд, ліній інженерних комунікацій, призводять до зміни природного геологічного середовища, а саме до її підтоплення, заболочення, утворення провальних воронок. Для запобігання деформування земної поверхні, в межах впливу гірничих виробок і можливого утворення провальних воронок, здійснюють ліквідацію вироблених порожнин шляхом їх закладки інертними матеріалами.

Після відробки запасів на руднику «Голинь» в 1972 році його пустоти в об'ємі 1,7 млн. м³ ліквідовані сухим способом в 1973 році шляхом засипки стволів гравійно-гальковим матеріалом і перекриттям їх залізобетонними перемичками. Рудник «Калуш», після відробки запасів в 1978 році було ліквідовано шляхом заповнення порожнин Північного сільвінітового, Північного каїнітового і Центрального полів в 1988-1990 роках в об'ємі понад 2 млн. м³ недонасиченими розсолами. Хотінська дільниця, яка відокремлена від Центрального поля водонепроникною перемичкою, ліквідовано шляхом перекриття шахтного ствола залізобетонними перемичками. В даний час здійснюється заливка верхніх горизонтів рудника «Ново-Голинь» слабомінералізованими розсолами Домбровського кар'єру, які відбираються з глибини до 3 метрів. Графіки зміни рівнів і об'ємів розсолів в гірничих виробках рудника «Ново-Голинь» від початку проведення ліквідаційних робіт наведено в табл. 1 та на рис. 1.

лізованими розсолами Домбровського кар'єру, які відбираються з глибини до 3 метрів. Графіки зміни рівнів і об'ємів розсолів в гірничих виробках рудника «Ново-Голинь» від початку проведення ліквідаційних робіт наведено в табл. 1 та на рис. 1.

Стойкість масиву гірських порід при камерній системі видобутку забезпечується створенням міжкамерних ціликів. Проте, міжкамерні цілики на цих горизонтах перебувають під довготривалим навантаженням (більше 35 років) в напружено-деформованому стані в стадії сталої повзучості і деформуються з утворенням мікротріщин. При проникненні розсолів по мікротріщинах в ціликах зменшиться їх стійкість, що приведе до інтенсивного осідання земної поверхні. Крім того, на шахтному полі рудника «Ново-Голинь» є окремі ділянки, де водоносний гравійно-гальковий горизонт відокремлений від соленосних порід розсланцьованими обезсоленними глинами, які здатні до самообвалювання. Розсоли будуть сприяти руйнуванню і обвалюванню розсланцьованих глин, що приведе до утворення провальних воронок на земній поверхні і попадання розсолів у водоносний горизонт, як це має місце на Північному каїнітовому полі рудника «Калуш». Розвиток таких процесів може спричинити аварійну ситуацію, яка приведе до втрати великої кількості житлового фонду та забруднення підземного водоносного горизонту на значних відстанях.

Таблиця 1 – Графік закачки розсолів та зміни рівнів в гірничих виробках рудника “Ново-Голинь” від початку проведення ліквідаційних робіт

Роки заливки	Річний об’єм закачки розсолів в порожнини рудника (тис. м ³)	Рівні розсолів в гірничих виробках (абс. відмітки)	Примітка
1996	405.4		
1997	459.8	+95.1 м	на 1.01.1997 р.
1998	841.0	+114.5 м	на 1.01.1998 р.
1999	842.4	+116.5 м	на 1.01.1999 р.
2000	892.5	+137.0 м	на 1.01.2000 р.
2001	1686.9	+165.5 м	на 1.01.2001 р.
2002	853.2	+178.7 м	на 1.01.2002 р.
2003	460.0	+180.7 м	на 1.10.2003 р.
2004	647.2	+186.3 м.	на 1.12.2004 р.
2005	269.3	+187.9 м.	на 31.12.2005 р.
2006	1137.6	+195.0 м	на 31.12.2006 р.

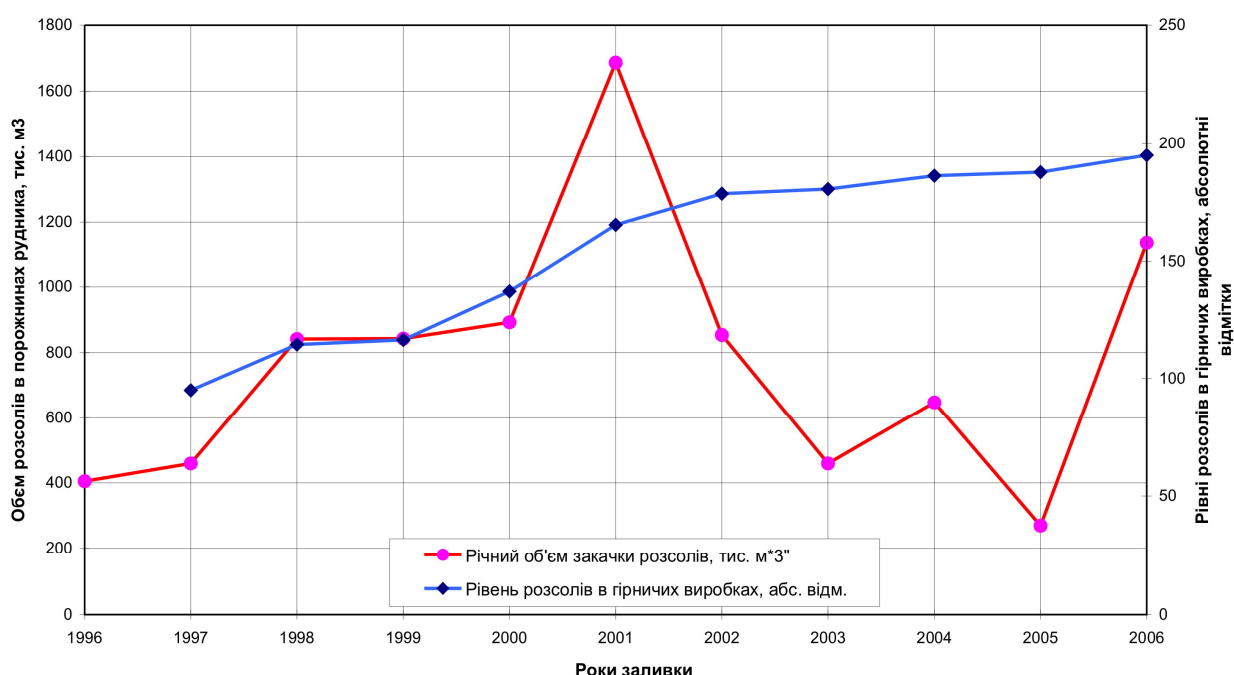


Рисунок 1 – Графік закачки розсолів та зміни їх рівнів

Згідно з перспективним графіком затоплення рудника, рівень підземних вод (поданих в гірничі виробки) досягне глинистих порід, які безпосередньо примикають зверху до соляного дзеркала та виходять під четвертинні утворення. Саме тоді слід очікувати на максимальну активізацію екзогенних геологічних процесів (ЕГП), наслідком яких може бути значне просідання денної поверхні та утворення провалів на ній.

При виборі комплексу досліджень при контролі цих процесів очікувалось, що поставлена задача виявлення та геометризації карстових зон буде вирішена завдяки взаємозв’язку та взаємозумовленості петрофізичних параметрів та карстових процесів. При цьому передбачалась наступна схема інтерпретації, спрямована на виявлення карстонебезпечних зон (табл. 2).

Інтерпретація велась для товщі порід, що обмежена зверху денною поверхнею, а знизу – площиною з абсолютною відміткою + 120 м., тобто на максимальну глибину біля 190 метрів. Розміри комірки дискретизації при інтерпретації 2×2 м. Ці розрізи обумовлені складністю геолого-геофізичної моделі, а саме наявністю камер і тонких пропластків літологічних різновидів, і визначають точність побудов ± 1 м по горизонталі та ± 1 м по вертикалі.

В верхній частині розрізу спостерігаються локалізовані аномальні зони розуцільнення, які своїми максимальними значеннями $-0.06 \cdot 10^3$ кг/м³ приурочено до гравійно-галькових відкладів (рис. 2). Незначною мірою ці аномалії заходять в пласт четвертинних гіпсо-глинистих порід. В центральній частині розрізу спостерігається приповерхнева аномалія, яка з глиби-

Таблиця 2 – Комплекс методів та схема інтерпретації при виявленні карстонебезпечних зон

Метод	Параметр, що визначений за методом	Зміна параметра	Зміна стану породи
Гравіметрія	Густина гірських порід	Зменшення густини	Розуцільнення, розвиток карсту
Зондування становленням електромагнітного поля	Електричний опір гірських порід	Зменшення електричного опору	Наявність розсолів, розвиток карсту
Природне імпульсне електромагнітне поле Землі	Інтенсивність електромагнітного випромінювання	Збільшення інтенсивності	Збільшення механічної напруженості гірських порід, просідання, розвиток карсту

ною розширюється і простягається в межах (60 – 250 м.). Розуцільнення незначне – до $0.03 \cdot 10^3$ кг/м³.

За профілями зроблено вибірку значень розподілу щільності за результатами профільної обробки з метою побудови горизонтальних зрізів цільового параметру. Рельєф денної поверхні і зрізи розрахункових значень щільності за абсолютними позначками представлено на рис. 3.

Можна відокремити дві ділянки за заданим планшетом (контури планшету наведено як заштриховану зону на карті рельєфу денної поверхні), для яких зона розуцільнення впевнено корелюється від зрізу до зрізу. Одна поверхнева (зріз 296 м) аномалія розуцільнення з дефіцитом $0.05 \cdot 10^3$ кг/м³ при переході на нижній рівень розгалужується на два субвертикальних "канали". На рівні 276 м спостерігаються лише легкі відбитки цих "каналів", тому можна припустити, що на рівні 278 м ця зона закінчується. По правому краю планшету відокремлюються дві зони менших розмірів, які можна простежити до зрізу на абсолютній відмітці 276 м.

Метод повного нормованого градієнта (МПНГ) запропонований з метою відокремлення із спостереженого гравітаційного поля невеликих по амплітуді аномалій, що обумовлені різними геологічними об'єктами, а також для отримання певних геологічних представлень про джерела цих аномалій. Оператор повного нормованого градієнта G_n з математичної точки зору реалізує процес фільтрації, тому цілком природно метод знайшов застосування і в інших галузях розвідувальної геофізики (магніторозвідка, сейсморозвідка, електророзвідка). Результатом обробки за методом МПНГ є розподіл безрозмірного параметра G_n для кожного із полів, що підлягають обробці.

Слід відзначити два основних аспекти застосування МПНГ для обробки геофізичних даних. По-перше, при виконанні першої частини методу, а саме аналітичному продовженні поля в нижній півпростір, ми можемо отримати інформацію про глибину залягання аномаліє утворюючих геологічних тіл. При переході на глибини, нижчі за верхню кромку тіла, поле при його продовженні "руйнується". Тому значення повного нормованого градієнту при наближенні до верхньої кромки тіла збільшується

до максимального значення, а при переході через відмітку верхньої кромки поступово зменшується до 0. Такий характер зміни безрозмірного параметру повного градієнту дозволяє локалізувати в просторі границі геологічних тіл. В цьому полягає одна із найсуттєвіших переваг методу ПНГ. По-друге, як аналітичне продовження поля в нижній півпростір, так і розрахунок повного нормованого градієнта (операція чисельного диференціювання) відносяться до класу нестійких операцій, для яких характерна залежність від рівня похибок даних. Спостерігається великий вплив так званих крайових ефектів при обробці даних по МПНГ. Тому рекомендується для отримання вірогідних результатів на ділянках визначених розмірів не використовувати значення ПНГ на краях ділянки шириною 5-10 глибин. [1] Таке обмеження є суттєвим недоліком методу. При обробці результатів гравірозвідки і ПЕМПЗ на ділянці Сівка-Калуська задано обмеження по краях в розмірі 8 глибин горизонтальних розподілів ПНГ, тому інформативна ділянка для ПНГ із збільшенням глибини горизонтального зрізу ПНГ зменшується.

Результати інтерпретації даних гравірозвідки за методом повного нормованого градієнта наведено на рис. 4. На рисунку пунктиром підкреслено аномально високі значення ПНГ, які корелюють з областями низьких значень гравітаційного поля. Зони ПНГ із значеннями $>0,5$ в правому краю планшету не вважаються інформативними, тому що, по-перше, можуть бути викликані крайовими ефектами при обробці, по-друге, відповідають високим значенням спостереженого гравітаційного поля, і, по-третє, не корелюються з полями по інших методах на якісному рівні.

На рисунку 5 зображено карти розподілу ПНГ на рівнях 2, 3, 4. Спадковість зон високих значень спостерігається послідовно на всіх рівнях. Враховуючи фізичні передумови методу, можна зробити висновок, що верхня кромка тіл, які обумовили створення аномалій поля, знаходиться нижче максимальної глибини отримання результатів по МПНГ, в даному випадку на глибинах приблизно 20 м від денної поверхні. Спадковість зон високих значень ПНГ, або, іншими словами, кореляція аномалій ПНГ по глибині зображено на рис. 5.

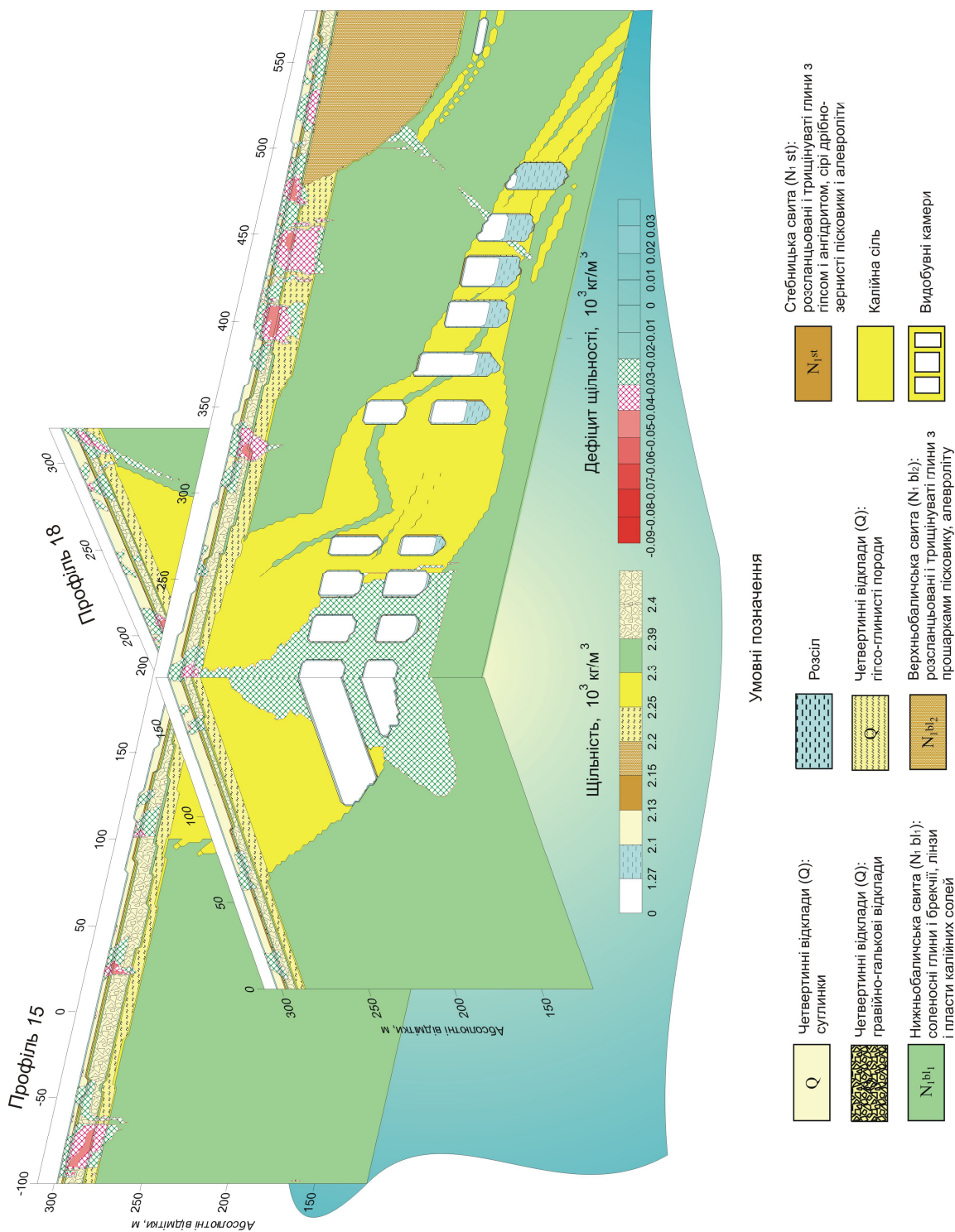


Рисунок 2 – Результати інтерпретації гравірозвідки (перетин регіональних профілів 15 та 18)

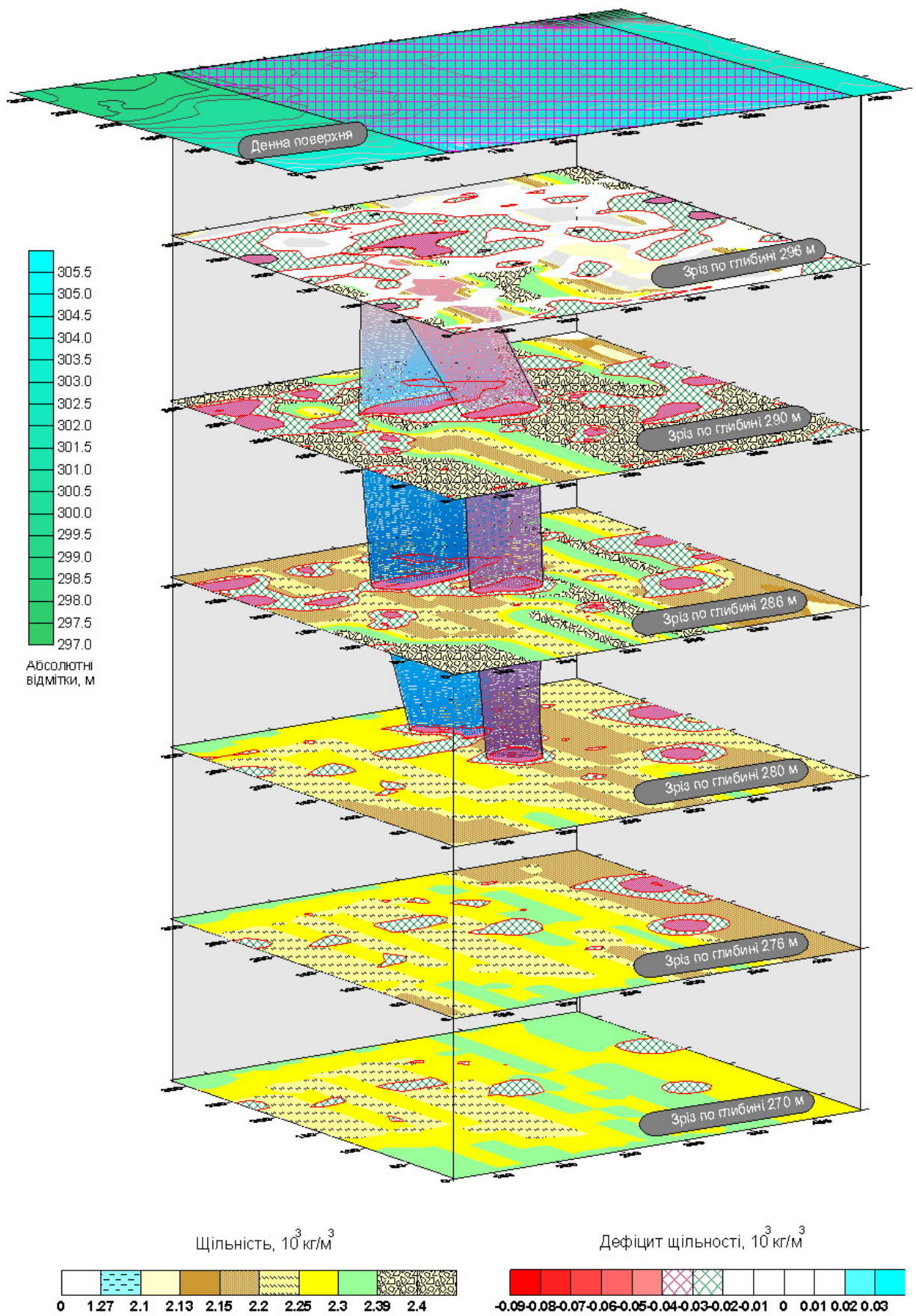


Рисунок 3 – Просторове зображення зон розуцільнення по горизонтальних зрізах

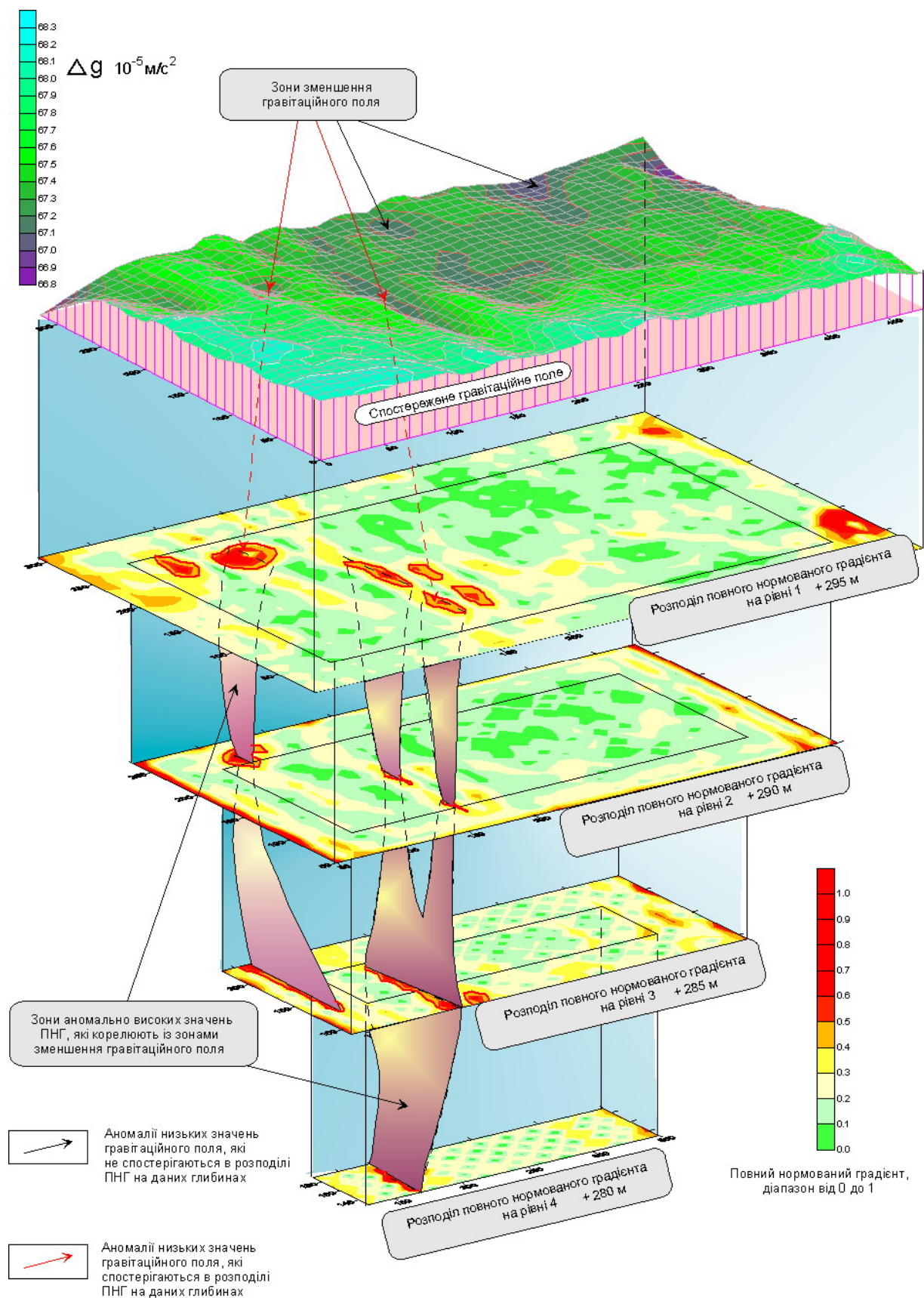


Рисунок 4 – Результати інтерпретації гравірозвідки за методом повного нормованого градієнта

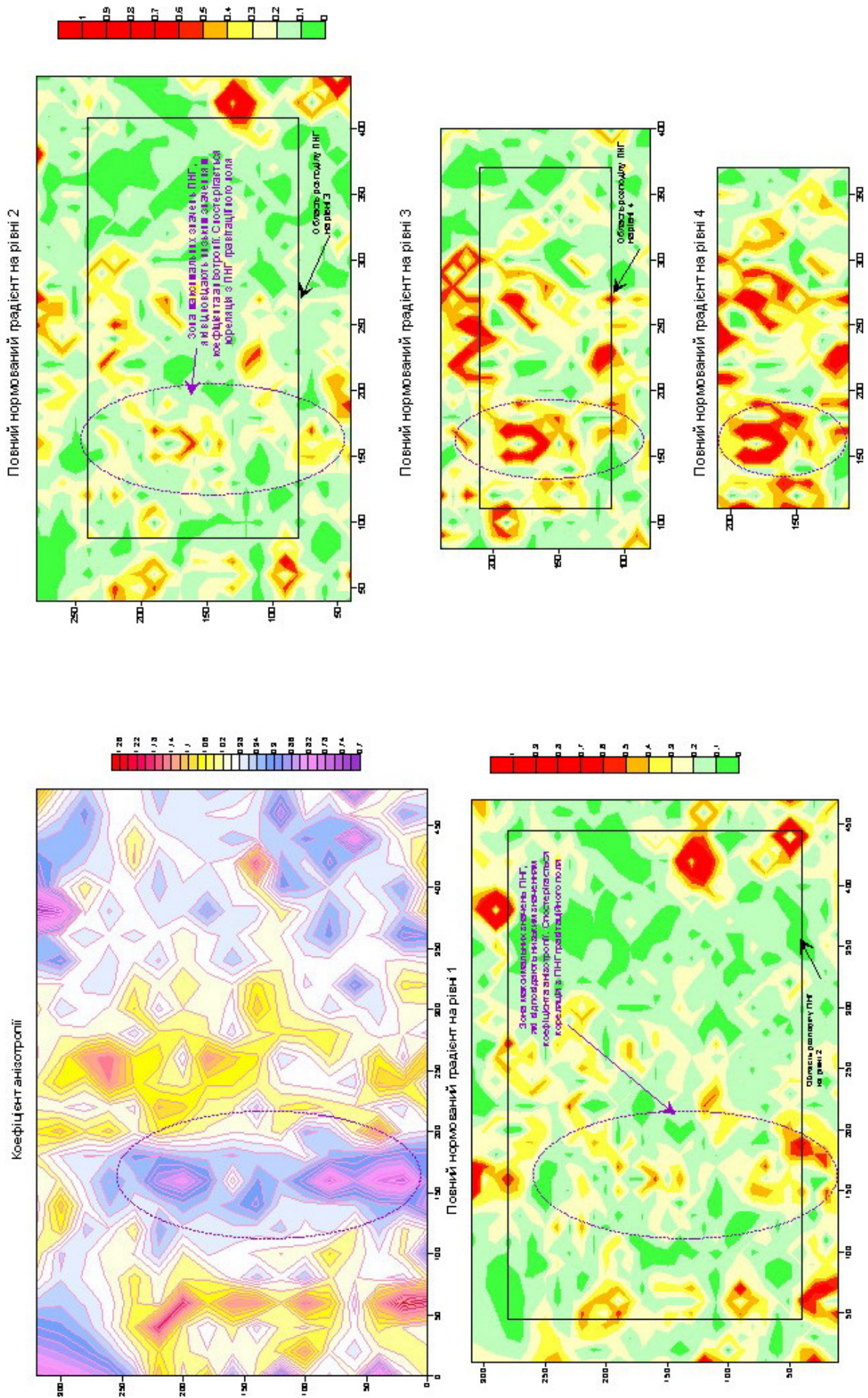
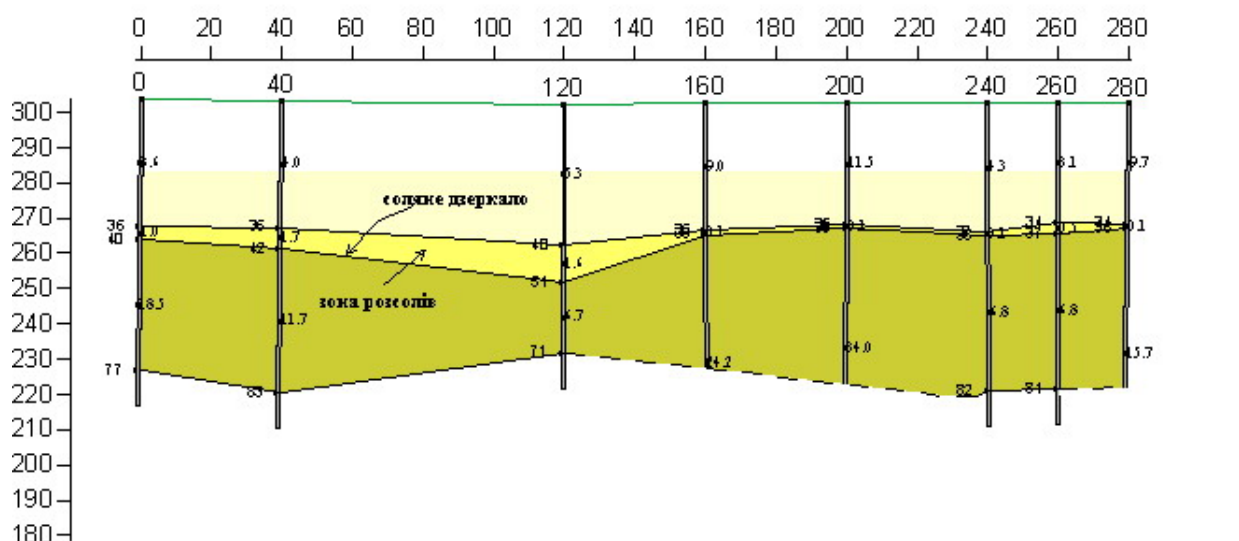


Рисунок 5 – Результати інтерпретації методом імпульсного електромагнітного поля Землі

Профіль 1



Умовні позначення

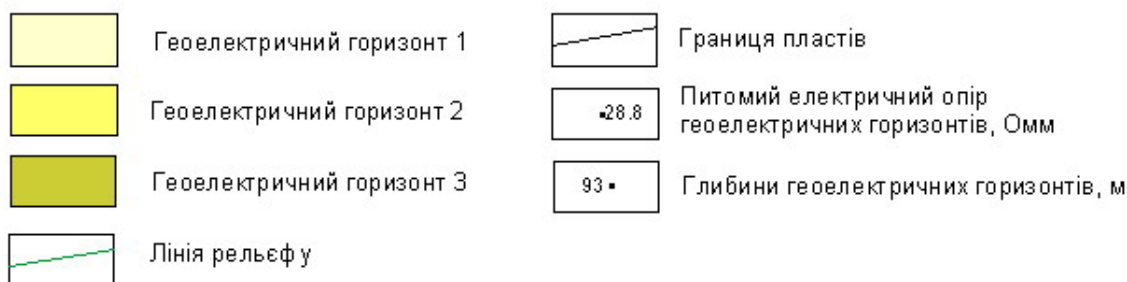


Рисунок 6 – Результати інтерпретації методом зондування становлення поля в ближній зоні (ЗСБ)

За даним методом зондування становлення поля в ближній зоні (ЗСБ) отримано такі результати (рис. 6). Верхня частина горизонту змінюється від 3,8 до 32 Ом·м, середнє значення – 15 Ом·м. Горизонт корелюється з породами, які пов’язані з поверхневими глинами та суглинками. Потужність горизонту коливається від 0 до перших десятків метрів. Другий горизонт простежується на всіх профілях і його опір змінюється від 0,1 до 2 Ом·м. Середнє значення 0,8 Ом·м. Глибина залягання низькоомного горизонту 35-40 м, що ймовірно обумовлено підвищенням мінералізації пластових вод і відповідає породам гіпсо-глинистої шляпи, яка насичена розсолами, які циркулюють в покрівлі соленосних пластів. Потужність горизонту складає 1-2 метри. Третій горизонт характеризується підвищенням електричного опору від 25 до 180 Ом·м. Середнє значення 50 Ом·м. На нашу думку це пов’язано з проявами соленосних пластів. Нижня границя горизонту не є чіткою.

Висновки

Аналіз зазначених матеріалів дає підстави зробити певні висновки в частині картування літолого-стратиграфічного розрізу, встанов-

лення зон наявності розсолів, розвитку карстових процесів та просідання масиву гірських порід, зон підвищеної механічної напруженості гірських порід та впливу заливки камер на інтенсифікацію карстоутворення.

1. Літолого-стратиграфічний розріз та фаціальні зони.

Загалом геофізичні дані підтверджують геологічний розріз, встановлений в попередні роки за результатами суто геологічних досліджень, тобто даних буріння та гірничих робіт. Проте є суттєва відмінність, яка полягає в наступному. За даними буріння поверхня «соляного дзеркала» як літологічний контакт знаходиться на глибинах 20-25 м. На геофізичних розрізах ця поверхня не відбивається, а відбивається покрівля пласта підвищеного електричного опору на глибинах 32-43 м. Це означає, що частина пласта верхньобалицьких засолених порід, яка знаходиться під четвертинними утвореннями, еродована (можливо розмита) характеризується високою водопроникністю, співвимірною з водопроникністю четвертинних утворень. Таким чином, покрівля водоупору знаходиться на 12-18 м нижче, ніж вважалось досі. Фільтраційні властивості пласта та його щільність змінюються по латералі.

2. Зони розсолів.

Перша від поверхні зона розсолів спостерігається над покрівлею водоупору в верхньобалицьких породах, тобто на глибинах приблизно 30-40 м, і має потужність в основному 2-3 м, яка збільшується до 11 м в місцях, де покрівля водоупору понижується, а породи, відповідно, розмиті (вилуговані).

Друга зона розсолів починається з глибини, яка відповідає рівню заливки камер на час досліджень. Цей рівень однозначно виділяється різким підвищенням електричної провідності. Слід зазначити, що для значної частини розрізу гірських порід проникнення в них розсолів не спостерігається, тобто ці породи є водоупорами, в які на час досліджень розсоли не інфільтрувались.

3. Зона розвитку карстових процесів та просідання масиву гірських порід.

Зазначені зони виділяються, в першу чергу, на геогустинних розрізах і співставляються із зонами розуцільнення.

Із фізичних міркувань слід вважати, що значні за розмірами зони розуцільнення, які тяжіють до масиву гірських порід, що примикають зверху до стелін камер, пов'язуються з об'ємним просіданням порід, яке розвивається знизу вгору. На всіх геогустинних розрізах по ділянці досліджень зазначені зони мають розуцільнення в основному до $0,03 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (похибка $\pm 0,01$). Наприклад, при розвитку такої зони по вертикалі при фоновій густині гірських порід $2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ будемо мати розуцільнення, яке відповідає створенню додаткової (надлишкової) загальної пористості на 1,5 %. Якщо виключити розмив (розчинення) гірських порід, то на 100 м потужності необхідне для створення такої пористості просідання на глибині 100 м на 1,5 м з подальшим його розподілом вгору по вертикалі. Таке просідання необов'язково повинно в повному об'ємі відтворитись на денній поверхні. При частковому розмиві порід ступінь просідання зменшиться.

Субвертикальні зони розуцільнення, які починаються з денної поверхні, або із зони розсолотворення над «соляним дзеркалом» та продовжуються на значну глибину, слід пов'язувати із соляним карстом. Такими окремими зонами характеризується вся ділянка, але ступінь розуцільнення не є значною – від $0,06 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ у верхній частині розрізу до $(0,02-0,03) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ в середній і нижній його частині. Ці карстові форми є передвісниками утворення карстових лійок і провалів на денній поверхні. Згідно з наведеними результатами слід очікувати на поверхні одну основну підковоподібну за формою ділянку можливого провалу – в межах профілів 10-13, пікети 160-230. Ця ділянка підтверджена в різних методах обробки та інтерпретації даних гравіметрії. Відмічаються також інші аномальні ділянки, проте тут зони розуцільнення значно менші за розмірами та затухають з глибиною.

4. Зони підвищеної механічної напруженості гірських порід.

Ці зони виділяються за даними методу ПЕМПЗ і, з фізичної точки зору, можуть відповідати як зонам підвищеної фільтрації за рахунок додаткового гідравлічного тиску та утворення відповідної електричної напруженості, так і зонам додаткових механічних зусиль, наприклад, сил зсуву гірських порід при їх просіданні. Відмічається одна значна аномальна зона на поверхні, яка корелює із зоною розуцільнення, та декілька другорядних зон. Це свідчить про активність процесів карстоутворення та просідання і про подальший їх розвиток.

5. Щодо впливу на розвиток та активізацію процесів карстоутворення заливки шахтних порожнин розсолами, то за геофізичними даними такий вплив на час проведення досліджень не відмічається.

Загалом можна зробити висновок, що територія досліджень підвержена впливу як процесів карстоутворення, так і процесів просідання за рахунок карсту та наявності видобувних камер, проте катастрофічного характеру ці процеси поки що не мають.

Література

- 1 Березкин В.М. Метод полного градиента при геофизической разведке. – М.: Недра, 1988. – 188 с.
- 2 Прогнозування деформацій земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями рудника «Ново – Голинь» / Кузьменко Е.Д. та ін. / Звіт з науково-дослідної роботи. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2005.
- 3 Проведення спеціальних моніторингових досліджень над шахтними полями відпрацьованих калійних рудників з метою недопущення загрози техногенної-екологічної ситуації Калуському регіону / Хмара І.М., Кузьменко Е.Д. / Звіт з науково-дослідної роботи. – Калуш: ДНДІ «Галургія», 2006.