

УДК 550.83

Е. Д. КУЗЬМЕНКО, С. М. БАГРІЙ, І. В. ЧЕПУРНИЙ, М. В. ШТОГРИН

Кафедра геотехногенної безпеки та геоінформатики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська 15, Івано-Франківськ, 76019, Україна, тел. +38(0342)504761, ел. пошта: gbg@nung.edu.ua

ОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ ПРИПОВЕРХНЕВИХ ДЕФОРМАЦІЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД У МЕЖАХ СТЕБНИЦЬКОГО КАЛІЙНОГО РОДОВИЩА МЕТОДОМ ПЕМПЗ<https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.098>

Мета. Метою роботи є обґрунтування доцільності застосування методу природного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) для оцінювання небезпеки приповерхневої деформації гірських порід унаслідок експлуатації Стебницького родовища калійної солі. **Методика.** Проведено геофізичні дослідження методом ПЕМПЗ для ділянок у межах гірничого відводу Стебницького родовища калійної солі (Львівська область, Україна). У результаті деформацій, що виникають під час розроблення родовища за рахунок створення штучних пустот та розвитку соляного карсту, гірські породи перебувають у збудженому стані, що викликає електромагнітну емісію порід і відповідні варіації імпульсного електромагнітного поля. **Результати.** Побудовано карти інтенсивності випромінювання природного імпульсного електромагнітного поля Землі для досліджених ділянок Стебницького родовища калійної солі для трьох антен, спрямованих по осях X (горизонтальна складова північ – південь), Y (горизонтальна складова схід – захід), Z (вертикальна складова), а також для повного вектора поля. Статистичними методами досліджено кореляцію значень повного вектора ПЕМПЗ із фактичними значеннями осідання денної поверхні за період 2000–2014 рр. для одного профілю. Об'єктом досліджень є ділянки автомобільної магістралі Львів–Трускавець (Львівська область, Україна) у межах гірничого відводу Стебницького родовища калійної солі. Деформація дорожнього полотна пов'язана з наявністю видобувних камер під автомагістраллю. Деформаційні форми на дорожньому полотні (тріщини, заколи, “хвилі”) відображаються аномаліями інтенсивності імпульсного електромагнітного поля, наявність яких свідчить про аномальний напружено-деформований стан гірських порід та можливість (ймовірність) подальшого розвитку просідання земної поверхні в межах контура виявлених аномалій. **Наукова новизна.** На прикладі досліджень зони автодороги Львів–Трускавець у межах Стебницького родовища калійної солі дістала подальший розвиток система знань щодо ефективності методу ПЕМПЗ у частині обґрунтування та демонстрації зв'язку параметрів ПЕМПЗ з деформаціями порід і рухами земної поверхні, які відображені у деформаціях дорожнього полотна автомобільної магістралі. Тріщини, заколи, “хвилі” на дорожньому полотні якісно відповідають зміні інтенсивності та аномаліям електромагнітного поля, у якому не тільки відображають деформації, але й зазначають межі їх поширення внаслідок розвитку зони аномалій напружено-деформованого стану гірських порід. **Практична значущість.** За результатами представлених досліджень виконано районування зони автомобільної магістралі Львів–Трускавець у межах Стебницького родовища калійної солі за ступенем небезпеки осідання гірських порід. Відповідно до розподілу нормованих значень інтенсивності електромагнітного поля запропоновано встановити певні рівні небезпеки деформацій гірських порід, наявність мозаїки низьких, середніх, підвищених та високих рівнів небезпеки деформації гірських порід, узгоджених із зонами деформації дорожнього полотна, свідчить про складну просторову структурну деформацій порід у стані активної стадії просідання. Останнє спонукає до прийняття керівних рішень щодо переносу автомобільної магістралі або її постійного ремонту відповідно до розвитку деформаційних процесів.

Ключові слова: карст; карстопровальна небезпека; деформації порід; природне імпульсне електромагнітне поле Землі; Стебницьке калієне родовище.

Вступ

Розроблення родовищ калійної солі на Передкарпатті (Стебницького та Калуш-Голинського) привела до порушення геологічних, гідрогеологічних та геоморфологічних умов на територіях поширення соляних пластів, що спричинило активізацію розвитку небезпечних геологічних процесів, зокрема розвитку карсту в межах депресійних лійок, які утворились унаслідок інфільтрації пластових вод у гірничі виробки. Небезпека розвитку карсту полягає в активізації супутніх процесів, а саме аварійному прориві пластових вод

у гірничі виробки та утворення провалів та просідань денної поверхні. Процеси деформації земної поверхні загрожують важливим об'єктам інфраструктури території: будівельним спорудам, лініям електропередач, автодорогам, залізниця, газопроводам, водогонам тощо. Щоб контролювати перебіг таких процесів та приймати відповідні заходи, необхідно здійснювати моніторинг розвитку цих процесів. Для визначення можливих зон розвитку процесів просідання та деформацій земної поверхні серед інших практично завжди застосовують геофізичні методи досліджень.

Досвід щодо ефективності геофізичних методів під час дослідження екзогенних геологічних процесів та прогнозуванні їх розвитку відомий за публікаціями як у зарубіжних, так і у вітчизняних фахових виданнях [Кузьменко, 2011; Гайдін, Рудько, 1998; Дослідження..., 2009; Хархалис, 1994; Chalikakis, 2011; Van Schoor, 2002; Zhou, 2002]. Застосування геофізичних методів для дослідження небезпечних процесів у межах соляних родовищ описане у працях закордонних вчених [Gendzwil, Stead, 1992; Kovin, 2011; Sanfirov, 2013]. Зокрема, матеріали щодо геофізичних досліджень на соляних родовищах Передкарпаття представлені у низці праць Е. Д. Кузьменка [Кузьменко, 2013; Комплекс..., 2003], С. М. Багрія [Багрій, 2013, 2016; Комплекс..., 2003], С. А. Дешиці, [Шуровський та ін., 2013]. Сьогодні вважається доведеною доцільність застосування під час дослідження соляного карсту методів вертикального електричного зондування, природного електричного поля, електротомографії, методу становлення електромагнітного поля, гравіметрії. У цьому разі роль випереджаючого експресного методу досліджень відіграє метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) [Оценка..., 2001].

Об'єктом досліджень, представлених у статті, є ділянка в межах гірничого відводу Стебницького родовища калійної солі, що в адміністративному відношенні розташоване на території Дрогобицького району Львівської області.

Особливість ділянки полягає в тому, що через її територію проходить гілка автомагістралі Львів – Трускавець. Деформації її дорожнього полотна пов'язуються з експлуатацією рудника та розвитком природно-техногенного карсту.

Стебницьке родовище калійної солі розробляється з 1922 року (рудник № 1). Родовище розроблялося підповерховими ортами з виробленням камер завширшки до 15–42 м, заввишки 60–120 м і завдовжки до 100 м. Підтримка виробленого простору здійснювалася залишенням міжкамерних та міжповерхових ціликів завширшки 12–24 м. У 1946 році потужність рудника доведено до 1 млн т калійної руди на рік. У 1960-х роках побудовано рудник № 2 проектною потужністю до 3-х млн т. Площа 30 км², запаси 1,1 млрд т, запаси калійних руд підраховані в геологічному балансі до глибини 1000 метрів. Солі переважно каїніто-лангбейнітові та лангбейнітові ($K_2Mg_2(SO_4)_3$), залягають у вигляді лінз потужністю кілька десятків (60–110 м) метрів на глибині 90–1000 м. У цей час родовище не експлуатується.

Розроблення родовища спричинила прогин поверхні, утворення карстових форм, кількість і інтенсивність яких, незважаючи на припинення гірничих робіт через складні гідрогеологічні умови, зростає у часі (Стебник, копальня № 2).

Об'єм пустот гірничих виробок, в основному видобувних камер, складав на Стебницькому родовищі 27,8 млн м³, а саме, рудник № 1 – 12 млн м³, рудник № 2 – 15,8 млн м³.

Негативним екологічним наслідком експлуатації є провали та просідання земної поверхні, які утворились унаслідок завалення гірничих виробок, розчинення солей та міграції підземних вод. Для виконання задачі дослідження зазначених процесів з успіхом застосовувався, починаючи з 1993 року, комплекс геофізичних методів [Еколого-геофізичні..., 2002]. Дослідження виконувались на шести різних ділянках та за декількома регіональними зв'язуючими профілями. На різних стадіях виконувались методи гравіметрії, вертикальних електричних зондувань, ПЕМПЗ, радіохвильового просвічування, газо-геохімічних досліджень. Тоді була відпрацьована методика дослідження природно-техногенного карсту та його розвитку в часі, а також апробована методика оцінки карстопровальної небезпеки для конкретних об'єктів. Серед здобутків треба зауважити прогностичні висновки щодо прориву розсолів у гірничі виробки, провалів на земній поверхні, шляхів інтенсивної фільтрації підземних вод, інтенсивного просідання денної поверхні, утворення тріщин в ціликах гірських порід.

Мета

Метою досліджень, представлених у цій статті, є обґрунтування доцільності застосування методу ПЕМПЗ під час дослідження та прогнозування деформації земної поверхні у зв'язку із зсувами гірських порід, пов'язаних із підземною експлуатацією соляних покладів та супутніми карстовими процесами на прикладі конкретного об'єкту – Стебницького родовища калійної солі.

Методика

Теоретичні передумови. У результаті деформацій, що виникають під час розроблення родовища за рахунок створення штучних пустот та розвитку соляного карсту, гірські породи перебувають в збудженому стані, що викликає розрядні явища та варіації імпульсного електромагнітного поля.

Інтенсивність геоелектричних процесів залежить від ряду причин: склад і властивості порід різних ґрусів, ступінь їхньої активності, потужність деформованих мас, характер деформацій. Складний напружений стан тіла викликає різне протікання механіко-електричних явищ. У результаті проходить сумування сигналів, тобто накладання полів. Генерування їх здійснюється різними джерелами.

Відповідно до праць розробника методу ПЕМПЗ А. Воробйова [Воробйов, 1971, 1980], а також праць дослідників, що використовували метод у практичних умовах [Саломатін, 1988, 1991; Дослідження..., 2009; Чебан, 2001; Коваль-

чук, 2003], прогнозування за даними ПІЕМПЗ може ґрунтуватися на наступних положеннях:

- визначення напруженого стану масиву гірських порід і прогноз умов можливого його переходу в критичний стан;

- прогноз кінетики незворотних деформацій у породах і прогноз переходу їх у катастрофічну фазу розвитку.

Немає сумніву, що метод, заснований на вивченні закономірностей зміни та розвитку властивостей порід, є найдоречнішим під час прогнозування, тому що саме він дає інформацію про явища, які передують зміщенню порід. Із застосуванням методу ПІЕМПЗ здійснюється переважно якісне вирішення цих питань, у такому разі автори визначено, які аномалії можна отримати і як їх класифікувати для конкретних умов, що пов'язані з осіданням земної поверхні та провальнопросадковими процесами. Ці аномалії притаманні міжкамерним ціликам (стінками камер); стелинам гірничої виробки; ряду гірничих виробок.

Важливим є факт розвитку аномалій ПІЕМПЗ на виділеній авторами передпочатковій (латентній) стадії осідання земної поверхні, коли зазначені осідання ще не фіксуються геодезичними спостереженнями.

Окремим етапом модельних досліджень ПІЕМПЗ є запропонований розрахунок глибини методу для конкретних геологічних умов [Багрій, 2016]. Цього достатньо для відстежування процесів розвитку соляного карсту, розмиву та руйнування соляної брекчії та відповідно вищезалягаючих горизонтів. Вплив деформації порід на імпульсне електромагнітне поле на більш значних глибинах фіксуються опосередковано, шляхом геологічної взаємодії нижче- і вищезалягаючих горизонтів.

Для формування принципів інтерпретації наведено рис. 1, який демонструє розподіл гірничого тиску, пов'язаного з гірничою виробкою. До явищ, які формують та супроводжують гірничий тиск, належать деформації, зміщення та руйнування елементів породних масивів і земної поверхні, а також взаємодія елементів масивів з інженерним супроводом. Отже, головним збудником гірничого тиску є гравітація, додатковими збудниками, які мають різну поширеність, тривалість і силу дії, є геотектонічні процеси, а також виробнича діяльність з видобування корисних копалин, будівництва підземних і наземних споруд. На рис. 1 також наведені модельні криві інтенсивності ПІЕМПЗ в імпульсах за секунду для різноманітних можливих ситуацій, які у якісній формі повторюють можливі варіанти розподілу гірничого тиску.

За статичного існування видобувних камер без зміни статичного тиску в часі у навколишньому середовищі будемо фіксувати криву I. При зміні гірничого стану за рахунок деформації будь-якої стінки камери (наприклад, правої на рисунку) виникає крива II, а в разі деформації усіх стінок –

крива III. При прогині стелини буде мати криву IV. Зрозуміло, що цілком можливі комбінації зазначених ситуацій. Крім того, ймовірними є аномалії ПІЕМПЗ у разі розмиву засолених брекчій і відповідних деформацій у гірничому масиві.

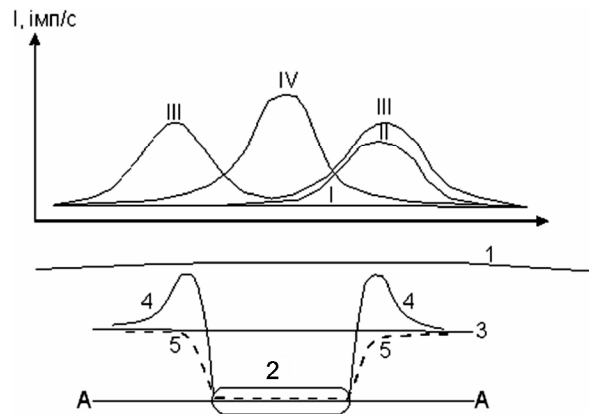


Рис. 1. Модельні криві інтенсивності ПІЕМПЗ та перерозподіл гірничого тиску в результаті проведення гірничої розробки
1 – земна поверхня; 2 – підземна гірничая виробка; 3 – вертикальні і горизонтальні напруження вздовж прямої AA до проведення розробки; 4 і 5 – відповідно вертикальні і горизонтальні напруження вздовж прямої AA після проведення розробки; I – відсутні зміни статичного тиску в часі; II – зміна гірничого тиску за рахунок деформації будь-якої стінки камери (наприклад правої на рисунку); III – деформації усіх стінок камери; IV – прогин стелини гірничої камери

Fig. 1. Model curves of intensity of PIEMPZ and redistribution of mining pressure as a result of mining
1 – the earth's surface; 2 – underground mine; 3 – vertical and horizontal stresses along of the line AA before mining; 4 and 5 – respectively, the vertical and horizontal stresses along of the line AA after mining; I – no changes in the static pressure in time; II – change of the mining state due to the deformation of any wall of the chamber (for example, the right on the figure); III – deformation of all walls of the chamber; IV – deflection of arch of the mining chamber

На початковій стадії розвитку деформацій, зміщень та руйнування масивів зміни гірничого тиску за рахунок механо-електричних перетворень будуть відображатись тільки в полі ПІЕМПЗ, тобто цей метод буде єдиним прогнозним. На подальших стадіях відзначається просідання земної поверхні у вигляді ізометричних мульд, які просторово корелюють з аномаліями ПІЕМПЗ.

Методика та техніка польових робіт

Роботи виконувались із використанням двох радіохвильових індикаторів напружено-деформованого стану (РХІНДС-ПМ). Опорний прилад

встановлювався стаціонарно на контрольному пункті (КП) і вимірював варіації електромагнітного поля, пов'язані з сонячною активністю та магнітотелуричними струмами.

Польовий прилад використовувався для робіт за профілями і вимірював значення електромагнітного поля, пов'язаного як із сонячною активністю, так і зі зміною напруженого стану гірських порід та зміною ступеня їхньої деформації.

Роботи велись у частотному діапазоні 2–50 кГц, з тим щоб охопити весь можливий спектр електромагнітних випромінювань. Кількість накопичень для однієї точки спостережень 7 – по дві секунди для кожного накопичення, тобто тривалість реєстрації складала 14 секунд. Виконані контрольні спостереження показали, що цього достатньо, щоб забезпечити необхідну якість робіт із похибкою контролю не більше ніж 5 %. Спостереження велись по трьох антенах, спрямованих за осями X (північ – південь), Y (схід – захід), Z (перпендикулярно земній поверхні).

Прив'язка точок на місцевості до карти здійснювалась за допомогою датчиків GPS, вмонтованих у прилад “Геосенс”. Фіксація координат і висот виконувалась паралельно зі зніманнями ПЕМПЗ. Одночасно на кожній точці реєструвались дані щодо інтенсивності електромагнітного поля приладом “Геосенс” за напрямом антени Z, що дало змогу уникнути помилок за рахунок “ураганих” значень поля, пов'язаних із зовнішніми та внутрішніми завадами.

Розміри ділянки та її розташування визначались замовником. У такому разі вважали за необхідне, щоб точки спостережень виходили за межі візуалізованих поверхневих деформацій у “фонове” поле. Роботи виконано в площинному варіанті за сіткою спостережень 20×10 м. Відхилення пояснювались особливостями місцевості. Одна з достатніх умов – збіг поздовжнього профілю ПЕМПЗ з опорними геодезичним – для подальшого узгодження даних. Подальший аналіз результативних карт геофізичних досліджень засвідчив, що відповідно до обраної сітки спостережень виконана одна з методичних умов площинної геофізики: мінімум 2–3 профілі на аномалії при 3–4 точках на профілі.

Обробка даних

Враховуючи, що спостереження проводять двома приладами, принцип обробки даних ПЕМПЗ такий [Чебан, 2001].

На КП на початку вимірювань у час t_0 прилад, який застосовується для визначення варіацій, показав середнє значення V_0 , а прилад, що використовується на профілі – I_0 . Щоб привести профільні спостереження до КП, слід визначити “коефіцієнт розбіжності приладів” – $K_p = \frac{V_0}{I_0}$, на

який необхідно множити значення I_i , отримані за профілем:

$$I_i^{прив} = K_p I_i. \quad (1)$$

Для однозначного приведення профільних спостережень до КП у час t_i необхідно визначити коефіцієнт розбіжності приладів з урахуванням дрейфу нуля цих же приладів, використовуючи заміри, виконані в разі повернення на КП через певний проміжок часу, або після завершення спостережень на цьому профілі в час t_k (V_k та I_k), тобто:

$$I_i^{прив} = (K_p + \Delta K_p) I_i, \quad (2)$$

$$\Delta K_p = \frac{\left(\frac{V_k}{I_k} - \frac{V_0}{I_0} \right) (t_i - t_0)}{t_k - t_0}. \quad (3)$$

Повна формула для приведення профільних спостережень, зареєстрованих у час t_i , матиме такий вигляд:

$$I_i^{прив} = \left[\frac{V_0}{I_0} + \frac{\left(\frac{V_k}{I_k} - \frac{V_0}{I_0} \right) (t_i - t_0)}{t_k - t_0} \right] \cdot I_i. \quad (4)$$

Результати

Огляд території досліджень та її геологічна будова. Об'єктом досліджень є територія автомобільної дороги Львів–Трускавець у межах гірничого відводу Стебницького родовища калійної солі (рис. 2 та 3).

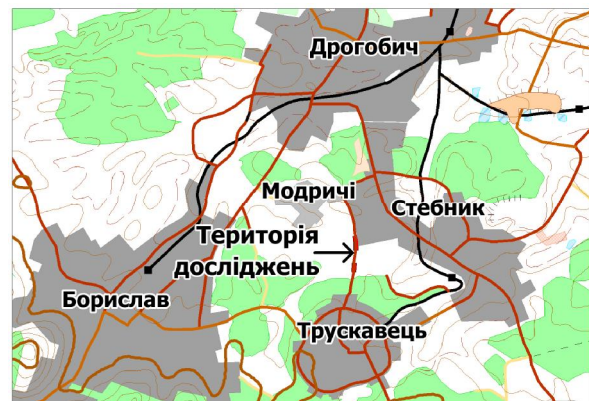


Рис. 2. Оглядова карта району робіт

Fig. 2. An overview map of the area of work

Як видно з рис. 3 на дорозі спостерігаються поздовжні та поперечні тріщини, заколи, а також “хвилі”. Необхідно оцінити можливість подальшого розвитку деформацій земної поверхні для деформованої ділянки автодороги та прилеглої території.

Геологічна будова ділянки 1 в плані демонструється зображенням соляних пластів на рис. 3, а також геологічним розрізом (див. далі).

Характеристика результативних матеріалів

Як видно з рис. 2, на території деформованої автодороги досліджувались дві ділянки. Для кож-

ної з них за результатами вимірювань побудовані карти розподілу інтенсивності електромагнітного поля по антенах Y, Z та карта повного вектора поля (рис. 4–6).



Рис. 3. Оглядова карта ділянок досліджень

Fig. 3. An overview map of the studied lots

Аномалії на карті інтенсивності по певному напрямку (X, Y або Z) відповідають напрямку дії вектора механічного напруження. Наприклад, якщо б стиск або розтяг порід відбувався тільки у північному або у південному напрямку, то спостерігалася б аномалія тільки по антені X. У реальній ситуації деформації відбуваються у довільному напрямку, який не співпадає з напрямком будь-якої антени. Таким чином, вектор деформації розкладається на складові і кожна із цих складових буде відображена в аномалії по окремій антені.

Повний вектор поля обчислений за формулою

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2 + I_z^2}, \quad (5)$$

де I_x , I_y , I_z – інтенсивності поля в антенах X, Y, Z.

Як приклад, розглянемо представлені карти для ділянки № 1. Зазначимо, що основою кожної карти є пласти солі з видобувними камерами. На ці карти винесено автодорогу, тріщини, заколи та “хвилі” на дорозі. Елементами для прив’язки карти до місцевості слугують дані GPS-знімань та ситуація на місцевості (опори ЛЕП, розгалуження доріг, канали).

Карта інтенсивності розподілу електромагнітного поля по ділянці 1 (антена X) наведена на рис. 4, б. Антена X орієнтована вздовж дорожнього полотна, щоб зареєструвати поперечні напруження. На карті виділяються дві яскраво виражені аномалії. Перша аномалія знаходиться в північно-східній частині планшету з розмірами в плані 60×100 метрів. Інтенсивність поля 60–30 імп/с. Аномалія пов’язана з краєм гірничого масиву, тобто вказує, що гірничі виробки знаходяться в напружено-деформованому стані. Друга аномалія знаходиться в центральній частині планшету, простягається із заходу на схід та має розміри 80×100 метрів. Аномалія розташована у зоні деформації дорожнього полотна та має інтенсивність 60–40 імп/с. У зоні аномалії ПІЕМПЗ знаходяться відпрацьовані камери.

Карта інтенсивності розподілу електромагнітного поля по ділянці 1 (антена Y) зображена на рис. 5, а. Антена Y орієнтована вхрест простягання дорожнього полотна, щоб зафіксувати повздовжні напруження. На карті виділяються три аномальні зони. Пояснимо природу походження цих аномалій. Перша аномалія знаходиться в північній частині планшету і простягається із заходу на схід. Інтенсивність поля ПІЕМПЗ змінюється в межах 40–25 імп/с та пов’язана з краєм відпрацьованого пласта. Друга аномалія знаходиться в центральній частині ділянки дослідження. Розміри аномалії 60×60 метрів, інтенсивність становить 75–45 імп/с. Аномалія пов’язана із тріщинами та заколами, які знаходяться на дорожньому полотні та далі на схід від ділянки досліджень. Зрозуміло, що напрямок антени X, з орієнтацією північ – південь, тобто паралельно до дороги, не зафіксував цих напружень. Третя аномалія розташована в південній частині карти і має розміри в плані 80×100 метрів. Інтенсивність поля електромагнітного випромінювання становить 75–40 імп/с. Аномалія пов’язана з відпрацьованими гірничими виробками. Тріщин, заколів на денній поверхні не виявлено. Проте їх слід очікувати.

Карта інтенсивності розподілу електромагнітного поля по ділянці 1 (антена Z) – рис. 5, б. Якщо антени X та Y визначають поздовжні та поперечні напруження, які виникають у гірничому масиві, то антена Z реєструє вертикальні зміщення.

На карті виділяються чотири локальні аномалії. Перша з них знаходиться в північно-східній частині. Розміри зони 40×80 метрів, інтенсивність поля 50–35 імп/с.

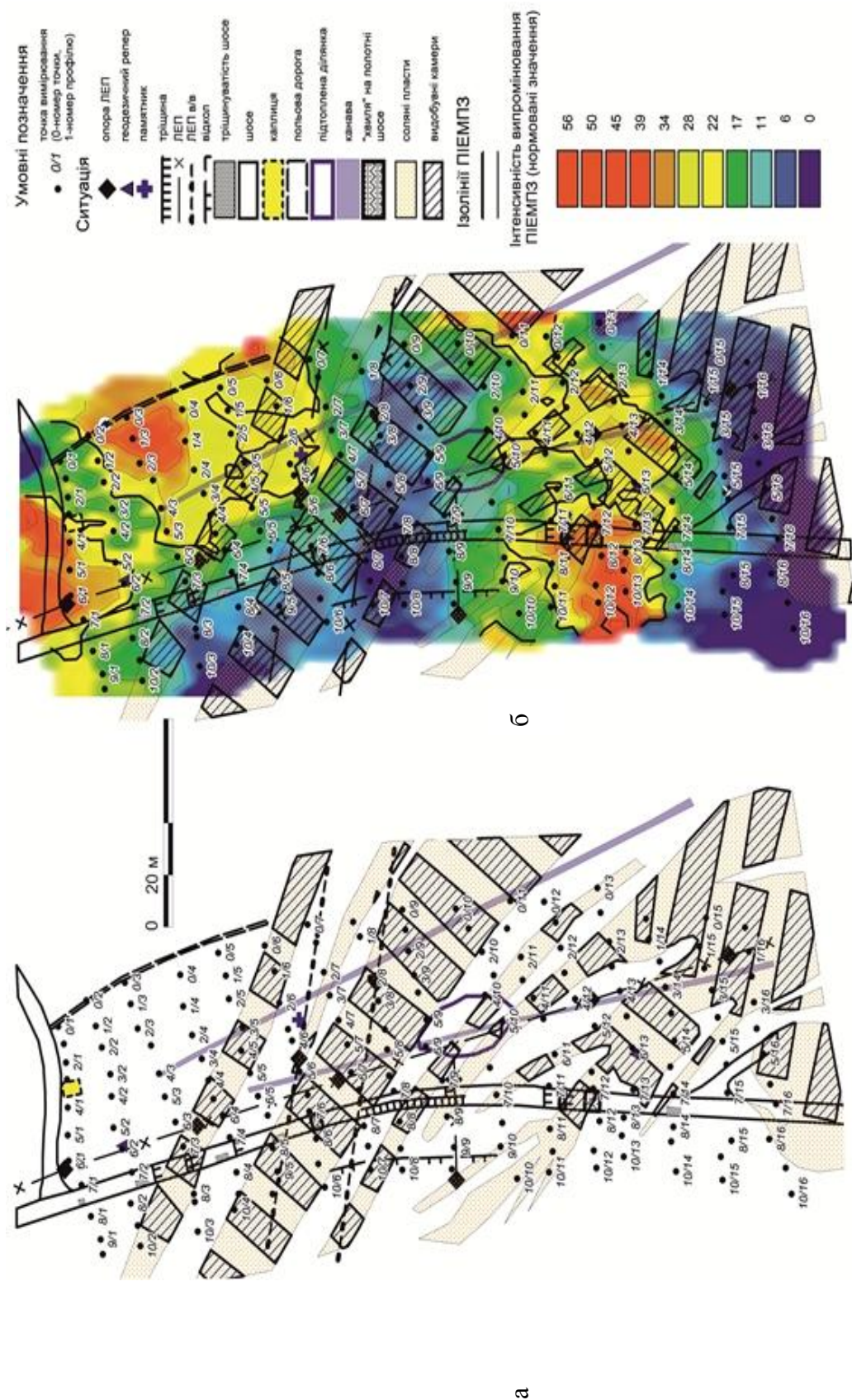


Рис. 4. Карти результатів геофізичних досліджень методом ПІЕМПЗ: а – оглядова карта ділянки досліджень; б – карта інтенсивності ПІЕМПЗ для антени Х, напрямом північ – південь

Fig. 4. Maps of the results of geophysical researches by the PIEMPZ method: a – an overview map of studied lot; b – map of PIEMPZ intensity

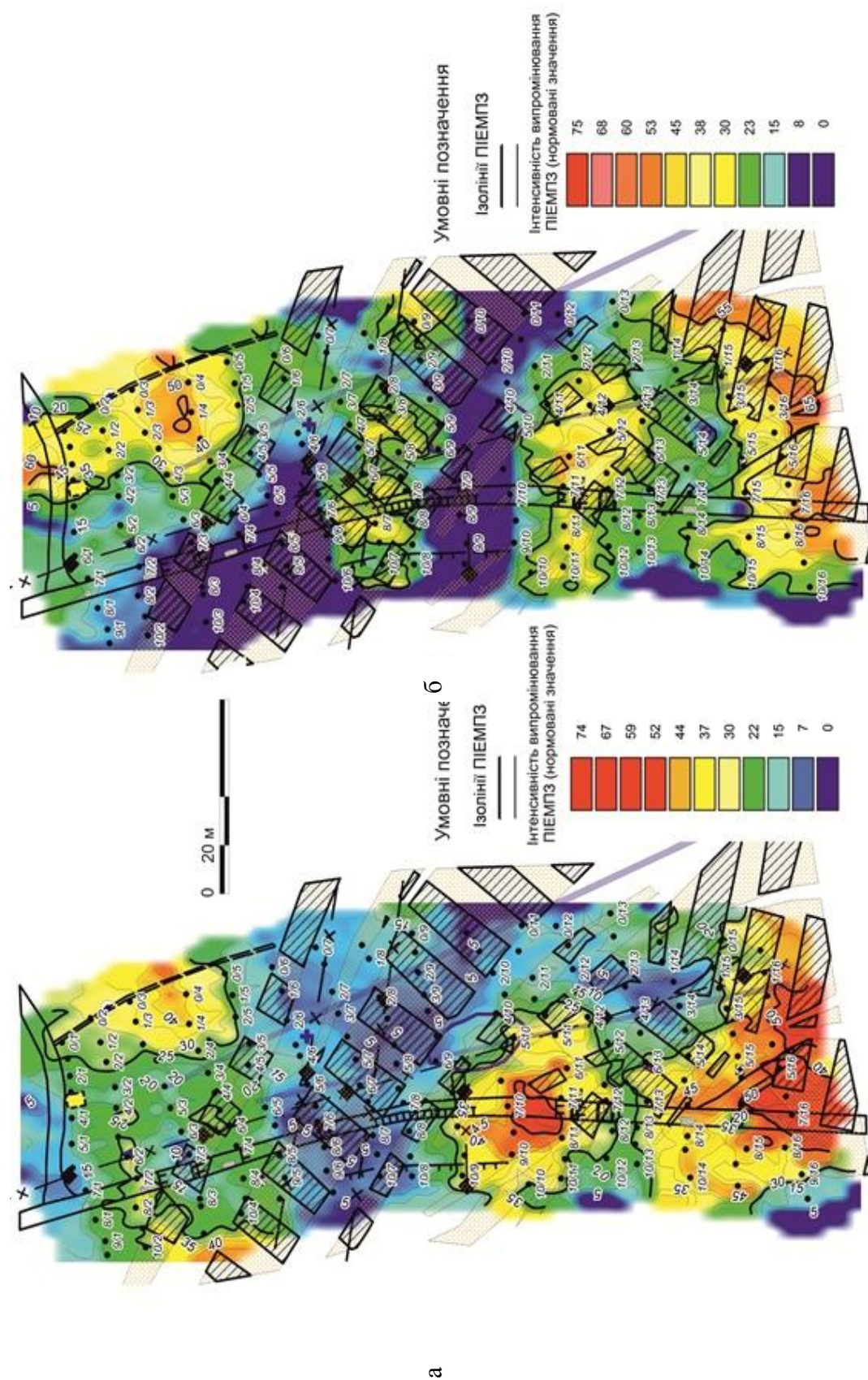


Рис. 5. Карти результатів геофізичних досліджень методом PIEMPZ: а – карта інтенсивності PIEMPZ для антени Y, напрямом схід-захід; б – карта інтенсивності PIEMPZ для антени Z, напрямом вертикально вниз

Fig. 5. Maps of the results of geophysical researches by the PIEMPZ method: a – map of PIEMPZ intensity for antenna Y, direction east – west; b – map of PIEMPZ intensity for antenna Z, direction vertically down

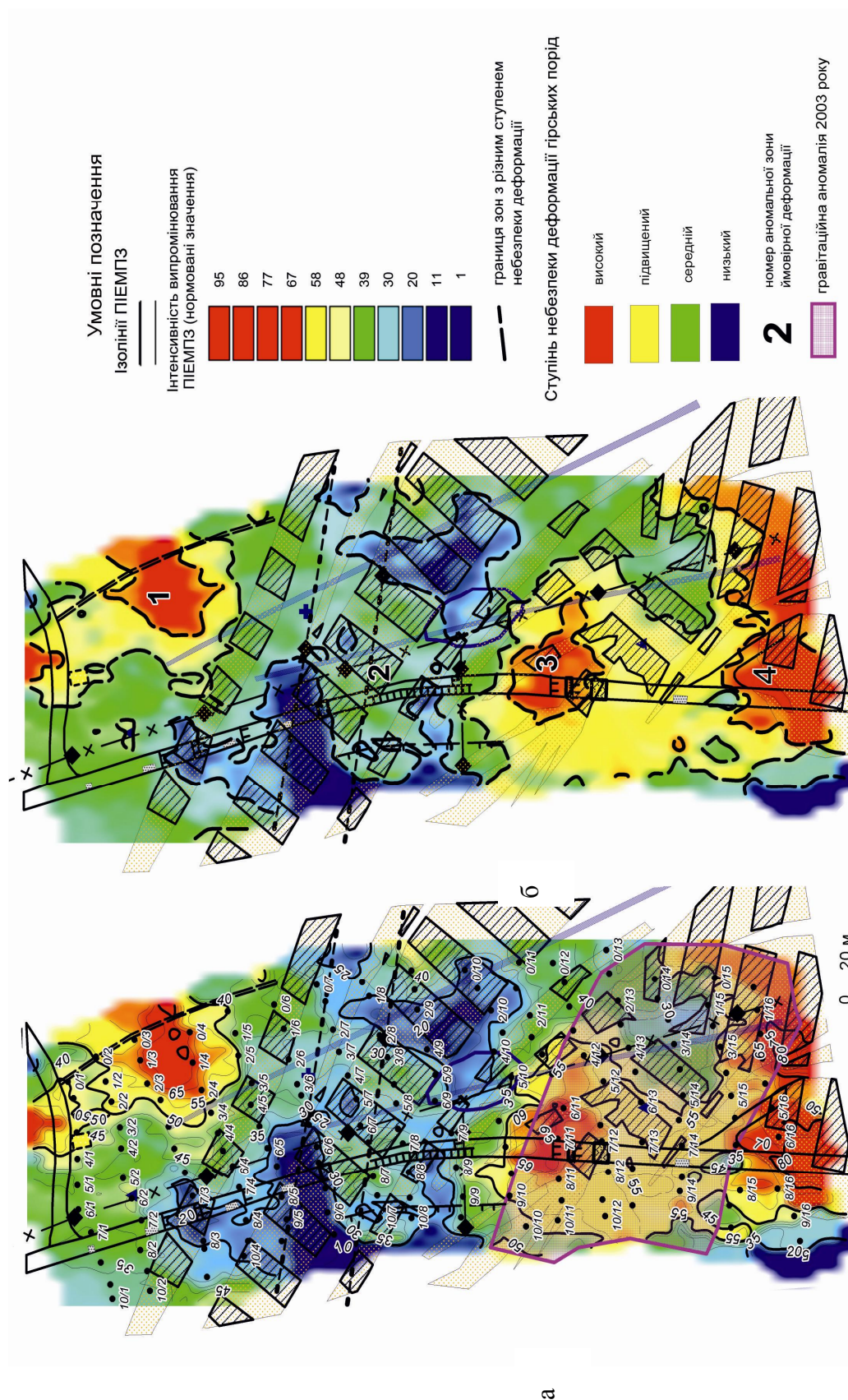


Рис. 6. Карти результатів геофізичних досліджень методом ПІЕМПЗ: а – карта повного вектора напруженості поля; б – карта районування за ступенем небезпеки

Fig. 4. Maps of the results of geophysical researches by the PIEMPZ method: a – map of the full field strength vector; b – map of zoning

Аномалія пов'язана з краєм відпрацьованого пласта. Друга аномальна зона знаходиться в центрі карти, розміри її становлять 80×50 метрів. Інтенсивність поля ПЕМПЗ змінюється від 50 до 35 імп/с і пов'язана з поздовжніми заколами дорожнього полотна.

Третя та четверта аномальні зони розташовані у південній частині планшету та утворюють із незначним послабленням поля між аномаліями одну крупну аномалію, яка пов'язана з деформацією дорожнього полотна та відпрацьованими гірничими виробками. Розмір аномалії в плані 100×120 метрів. Інтенсивність поля 75–45 імп/с.

Карта повного вектора напруженості електромагнітного поля на ділянці 1 – рис. 6, а. Ця карта містить інформацію по трьох антенах X, Y, Z. На карті виділяються дві виражені аномалії інтенсивності електромагнітного випромінювання.

Перша аномалія розташована у північній частині планшету з інтенсивністю 75–50 імп/с.

Друга аномальна зона має протяжність від центру ділянки досліджень на південь, розміри в плані 140×100 метрів. Аномалія контрастна, з інтенсивністю 95–50 імп/с. У зону аномалії попадають усі закартовані тріщини дорожнього полотна, заколи біля дороги, “хвилі”, які утворились у результаті деформацій гірського масиву.

Треба зазначити, що фактично зареєстровані значення інтенсивності поля сягали тисяч імп/с. Для зручності аналізу вище були наведені нормовані значення інтенсивності, які були отримані з вихідних шляхом приведення мінімальних зареєстрованих значень до нульових – з урахування варіацій поля на контрольному приладі.

Порівняння результатів робіт методом ПЕМПЗ (2016) та гравіметрії (1998, 2003). У 1998 році геофізичні роботи на території гірничого відводу Стебницького калійного родовища були виконані у рамках теми “Еколого-геофізичні дослідження в Західному регіоні України з метою простеження розвитку природного і техногенного карсту та супутніх процесів”. У результаті був представлений завершальний звіт (2002 рік), який включав альбом графічних додатків. На Стебницькому родовищі досліджувались три ділянки: “Залізниця”, “Провал”, “Автодорога”.

Ділянка “Автодорога” мала форму прямокутника з розмірами 1000×200 метрів і обрана була так, щоб профілі досліджень розташовувались уздовж автодороги. Комплекс методів включав гравіметрію, вертикальне електричне зондування (ВЕЗ), метод ПЕМПЗ.

У 2003 році виконано високоточні гравіметричні роботи за темою “Геофізичні дослідження на ділянці прориву надсолевих вод у рудник № 2 у районі пластів № 10, 11 та автодороги “Львів – Трускавець”. Розмір ділянки 600×400 м. При інтерпретації застосовано диференціальний алгоритм із побудовою карт та розрізів в одиницях створеного дефіциту густини, тобто в абсолютних

одиницях розушільнення. Аналіз результативної карти на рівні зрізу в гіпсо-глинистий шляпі свідчить про наявність розушільнення і відповідно зон інфільтрації з величиною аномалій від 0,05 до 0,15 кг/м³×10⁻³. Границі зон інфільтрації мають субвертикальний характер, а самі зони досягають покрівлі соляного пласта з подальшим його розмивом. Ділянки гравіметричних аномалій розушільнення в плані повністю збігаються з ділянками аномалій ПЕМПЗ, зафіксованими в 2016 році (рис. 6, а).

Проте, аномалія ПЕМПЗ значно розширюється на південь і є виразнішою. Це пояснюється більшою детальністю досліджень методом ПЕМПЗ (10×20 м) порівняно з гравіметрією (20×40 м). Крім того, збільшення площі аномалії пов'язано з тим, що за вісімнадцять років (1998–2003–2016) карстові процеси продовжували розвиватись, що зрештою призвело до деформацій дорожнього полотна. За методом ВЕЗ над камерами в соляному пласті була відмічена зона підвищеної інфільтрації поверхневих вод. Аномалій ПЕМПЗ у 1998 р. взагалі не зафіксовано.

Треба зазначити, що максимальна глибинність методу ПЕМПЗ, розрахована за методикою, наведеною в [Багрій, 2016] оцінюється приблизно в 60 м. Густинні розрізи за даними гравіметрії побудовані для діапазону глибин від земної поверхні до 350 м.

Наявність аномалій ПЕМПЗ, зафіксованих у 2016 р., свідчить, що за цей проміжок часу (18 років) розушільнення гірських порід збільшилось, і можливо, почався процес обвалу порід у камери. Відповідно, зазнали розушільнення приповерхневі гірські породи. Це пояснює, поперше, наявність аномалій ПЕМПЗ, по-друге, процес деформації полотна автомобільної дороги.

Кореляція просідань земної поверхні та аномалій інтенсивності ПЕМПЗ. У межах ділянки досліджень уздовж дороги проходить опорний геодезичний профіль, по якому проводяться режимні спостереження просідання земної поверхні. Методика проведення аналогічних робіт наведена у статті [Особливості..., 2014]. Дані зазначених спостережень узгоджені з полем ПЕМПЗ (профіль 1 на рис. 3) з метою підтвердження наших фізичних уявлень щодо розподілу інтенсивності поля над виробками (рис. 1) та достовірності отриманих результатів. На рис. 7 представлено зіставлення графіків просідання та інтенсивності ПЕМПЗ відносно геологічного розрізу по лінії АБ (рис. 3). Геологічний розріз є характерним щодо наявності непорушеного масиву гірських порід (70–170 м) та масиву, що вміщує соляні пласти з видобувними камерами.

Комплексний аналіз графіків та розрізу дає підстави зазначити таке. Над непорушеною частиною розрізу спостерігаються мінімальні значення просідань (близько 60 мм) та мінімальні значення інтенсивності ПЕМПЗ 20 імп/с.

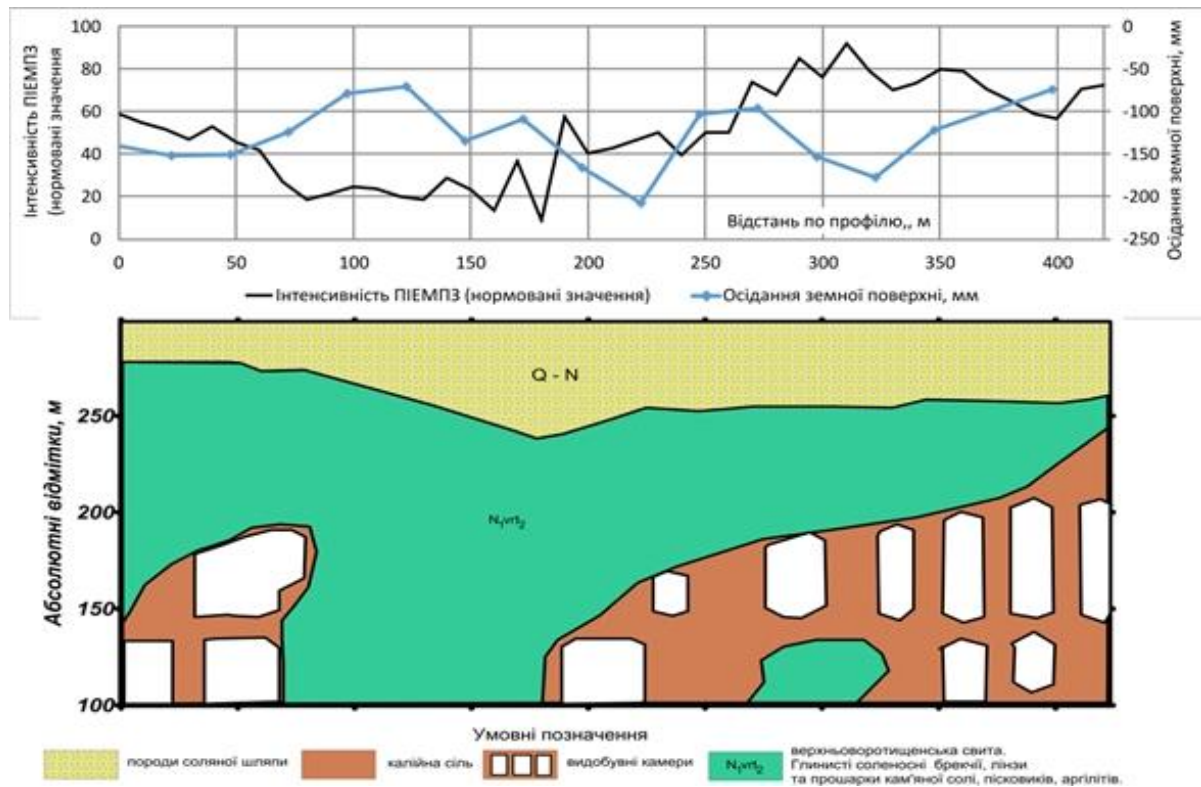


Рис. 7. Узгодження даних ПІЕМПЗ із просіданнями земної поверхні у зіставленні з геологічним розрізом зони досліджень

Fig. 7. Coordination of PIEMPZ data with subsidence of the earth's surface in relation to geological section of studied area

Ці значення збільшуються до 150 мм у лівій частині профілю над комплексом трьох камер. Значення ПІЕМПЗ тут зростають до 45–60. Для соляного пласта у правій частині розрізу максимальні значення просідань досягають 170–210 мм. Вони розподілені нерівномірно, що пояснюється кількістю рядів камер, вимірами над середньою або крайовими частинами пласта солі і, можливо, зрушеннями породи як в горизонтальному, так і у вертикальному напрямку. Графік інтенсивності ПІЕМПЗ має більш закономірний характер: значення інтенсивності збільшуються до 40–50 на початку (у напрямку зліва направо) і далі до 70–90 над центральною частиною пласта і до 60–70 над його правою крайовою частиною. Кількісна оцінка зв'язку просідання та поля ПІЕМПЗ засвідчена винесенням на рис. 8 кореляційного поля та обчисленням коефіцієнта кореляції за абсолютною величиною – 0,7375.

Наукова новизна

У запропонованій публікації розвинено систему наукових знань щодо закономірностей диференціації природного електромагнітного поля Землі відповідно до можливих причин його генерації. У такому разі на конкретному прикладі дослідженої території у межах гірничого відводу родовища калійної солі “Стебник” обґрунтовано

та продемонстровано зв'язок параметрів ПІЕМПЗ з рухами земної поверхні, які відображені у деформаціях дорожнього полотна автомобільної магістралі регіонального значення.

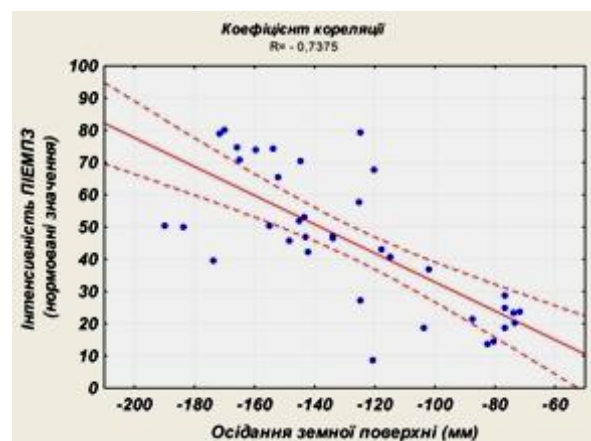


Рис. 8. Кореляційне поле для даних ПІЕМПЗ та осідання земної поверхні зони досліджень

Fig. 8. Correlation field for PIEMPZ data and the subsidence of the earth's surface of studied area

Тріщини, заколи, “хвилі” на асфальті відповідають аномаліям електромагнітного поля, у яко-

му не тільки відображаються деформації, але й зазначаються можливі межі їх поширення внаслідок розвитку зони напружено-деформованого стану гірських порід. Продемонстрована на кількісному рівні кореляція просідання земної поверхні, зареєстрованого за даними геодезичних вимірів, із значеннями інтенсивності ПЕМПЗ, є підтвердженням та науковим доказом достовірності наукових висновків.

Практична значущість

Останнім часом метод ПЕМПЗ регулярно застосовувався в Україні для дослідження розвитку екзогенних геологічних процесів – зсувних, карстових, селевих, а також для визначення ступеня напружено-деформованого стану будівельних споруд. Як зазначено у вступі до цієї статті, метод знайшов широке застосування під час вивчення процесів соляного карсту та прогнозуванні їх проявів на родовищах калійної солі. Останні дослідження 2016 року проведено на ділянках автомагістралі Львів–Трускавець у межах гірничого відводу Стебницького родовища калійної солі. У результаті виконано районування території за ступенем небезпеки деформації гірських порід (рис. 6, б). Відповідно до розподілу нормованих значень інтенсивності електромагнітного поля від одиниці до 95 імп./с запропоновано такі рівні небезпеки деформації гірських порід (актуальні для дослідженого об'єкта, використаної апаратури та умов даних досліджень): 1) низький (0–24); 2) середній (25–44); 3) підвищений (45–59); 4) високий (60–95). На карті повного вектора поля їм відповідають синій, зелений, жовтий і червоний кольори.

За аналізом карти для ділянки № 1 (північна) близько 80 % її території тією чи іншою мірою потерпає від деформацій. Слід звернути увагу на зони 1, 2, 3, де на час знімань спостерігалися найбільші аномалії. Це зони початкової або передпочаткової стадії деформацій.

Значна аномалія 1 з півночі прилягає до ряду камер. До неї із заходу прилягає зона напружень за антеною Y (схід-захід), (рис. 5, а), де процес деформації перейшов в активну стадію, а гірський масив є частково розвантаженим. Тому інтенсивність аномалії знижено до посиленого та помірного ступенів. Тут відмічаються поперечні тріщини на дорозі. На південь і далі на південний захід аномалія поширюється як помірна і узгоджується з поздовжньою тріщиною на дорозі (див. рис. 5, б, антена Z, вертикально вниз).

Аномалія 2 знаходиться над потужними камерами всередині ділянки знімань. У плані відповідає тільки антені Z і має ступінь від помірного до посиленого. Визначається тим, що перебуває в центрі потужної аномалії мінімальних значень поля. За роботою [Оценка..., 2001] такі аномалії належать до зон розущільнення і відповідають стадії загасання деформації. На цю аномалію припадає виразна тріщина на дорозі.

Значна аномалія 3 знаходиться над камерами і збігається з аномалією за гравіметриєю. Південне закінчення її узгоджується із тріщиною та хвилею на дорозі, а посилений і далі помірний ступінь відповідає зоні розвитку соляного пласта та видобувних камер у ньому.

Значна аномалія 4 міститься на південній частині ділянки, відповідає зоні поширення солі та камер, у зв'язку з чим територіально прямує на схід. Відповідає передпочатковій стадії деформації і прилягає з півдня до аномалії 3.

Загалом, на наш погляд, наявність на ділянці мозаїки значних, посилених та помірних рівнів ступеня небезпеки деформації гірських порід, узгоджених із зонами деформації дорожнього полотна, свідчить здебільшого про наявність активної стадії просідання. Площа аномалій ПЕМПЗ значно збільшилась, порівняно з площами розущільнення, зафіксованими у 1998 та 2003 роках. Якщо прийняти до уваги наявність під дорогою соляних пластів і відповідно декількох поверхів видобувних камер, то ймовірним є розвиток подій у напрямку довготривалого процесу деформацій, який закінчиться тільки тоді, коли всі камери будуть ліквідовані за рахунок повного природного просідання гірських порід.

Зважаючи на світовий досвід розвитку подій на відпрацьованих ділянках соляних рудників у Конго (1977 р.), Росії (Соль-Ілецьк, 1983, 2010 рр., Солекамськ, 1995 р., Березняки, 2007 р.), Німеччині (1976 р.), Україні (Солотвино, 2008, 2012 рр.), не можна виключати ймовірності раптового катастрофічного провалу.

Висновки

1. У представлений статті наведені результати геофізичних робіт методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) на ділянках деформації дорожнього полотна автомагістралі Львів–Трускавець та просідання земної поверхні поряд з автомагістраллю в межах гірничого відводу експлуатації Стебницького родовища калійної солі.

2. Застосування методу на ділянці деформацій дорожнього полотна дало змогу встановити таке:

- зони деформацій (утворення так званих «хвиль», поперечних та повздовжніх тріщин, бокових заколів однозначно узгоджуються з підвищенням інтенсивності електромагнітного поля);

- процес деформації не є загасаючим і має тенденцію до розвитку. Аномалії інтенсивності дозволяють однозначно окреслити небезпечні зони на ділянці досліджень, яку перетинає дорога;

- аномалії інтенсивності електромагнітного поля та «хвилі» на дорожньому полотні і поряд із ним корелюють між собою і відповідають зонам розвитку деформацій, у просторовому плані вони пов'язані із наявністю пластів солі та камер видобутку в них, тому що ці пласти знаходяться чітко під аномальними ділянками.

3. Порівняння результатів ПЕМПЗ (2016 рік) та гравіметрії (1998, 2003 рр.) свідчить про узгодженість зафіксованих аномалій. Водночас аномалії ПЕМПЗ збільшилися відносно аномалій гравіметрії по площі, що свідчить про розвиток у часі карстових процесів. Треба зазначити, що в 1998 році аномалій по методу ПЕМПЗ взагалі не було. Не було в той час і деформацій дорожнього полотна. За 18 років карстові процеси розвинулись, об'єм порожнин збільшився, можливо просіли стелі камер, унаслідок чого просів масив гірських порід над камерами до поверхні землі. Саме це призвело до деформацій дорожнього полотна і до появи аномалій ПЕМПЗ.

4. Порівняння даних геодезичних спостережень по опорних геодезичних профілях з результатами вимірювання інтенсивності ПЕМПЗ свідчить про тісну кореляцію ПЕМПЗ з величиною просідання земної поверхні у часі. Це підтверджує достовірність даних ПЕМПЗ та ефективність методу.

5. Процес просідання буде продовжуватись допоки не будуть ліквідовані (заповнені гірською породою) камери за рахунок природного осідання. Це багаторічний процес. Виконані геофізичні дослідження підтверджують, що цей процес у даний час триває.

6. Після виконання робіт, зазначених у попередньому пункті, слід вважати за доцільне порівняти вартість двох варіантів експлуатації дороги: 1) постійний ремонт та підсипка, доки процес просідання та деформації не припиниться; 2) перенос дороги. У будь-якому випадку потрібно вже обмежити швидкість автотранспорту та встановити знаки, що інформують про аварійний стан дороги.

7. Для запобігання раптового провалу дороги доцільно прискорити процес заповнення камер другого рудника розсолами. Коли камери будуть заповнені, процес просідання буде повільним, а не раптовим, тобто буде ліквідована загроза миттєвого утворення провалів на дорозі та локального землетрусу.

Список літератури

- Багрій С. М. Геофізичний моніторинг геологічного середовища в межах родовищ калійної солі (на прикладі Калуш-Голинського родовища) : дис. ... канд. геол. наук: 04.00.22. – Івано-Франківськ. – 2016. – 163 с.
- Багрій С. М. Особливості застосування методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі для прогнозу стійкості масиву гірських порід / С. М. Багрій, Е. Д. Кузьменко // XVIII Міжнар. наук.-техн. симпозіум “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології”, 10–15 вересня 2013 р., Алушта (Крим, Україна) : зб. матер. – Львів : Львівська політехніка, 2013. – С. 173–175.
- Воробьев А. А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах. – Томск : Изд-во Томского ун-та, 1980. – 211 с.
- Воробьев А. А. Физические условия залегания вещества в земных недрах / А. А. Воробьев. – Томск : Изд-во Томского политехн. ин-та, 1971. – Ч. 1. – 270 с.
- Гайдін А. М. Сульфатний карст та його техногенна активізація / А. М. Гайдін, Г. І. Рудько. – К. : Знання, 1998. – 75 с.
- Дослідження зсувних процесів геофізичними методами: монографія / Е. Д. Кузьменко, А. Ф. Безсмертний, О. П. Вдовина, І. В. Крив'юк, В. Д. Чебан, Л. В. Штогрин ; за ред. Е. Д. Кузьменка. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. – 294 с.
- Еколого-геофізичні дослідження у Західному регіоні України з метою простеження розвитку природного і техногенного карсту та супутніх процесів. Звіт по НДР / Е. Д. Кузьменко та ін., – Івано-Франківськ, 2002.
- Кузьменко Е. Д. Еколого-геологічний моніторинг на території Калуського гірничопромислового району – плани та реалії / Е. Д. Кузьменко, С. М. Багрій // Матер. доповідей XII Міжнар. конф. “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти”, 13–16 травня 2013 р. – Київ: ВАГ, 2013 (CD).
- Кузьменко Е. Д. Прогнозування екзогенних геологічних процесів / Е. Д. Кузьменко, О. М. Журавель, Л. В. Штогрин, Т. Б. Чепурна // X Міжнар. конф. “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти”. Київ, 10–13 травня 2011 р. Матер. доповідей. – К. : ВАГ, 2013 (CD).
- Ковальчук С. П. Поставь свой дом правильно, (практика геофизического метода ЕИЭМПЗ) / С. П. Ковальчук. – Одесса : Черноморец, 2003. – 112 с.
- Кузьменко Е. Д. Комплекс геофізичних методів прогнозування розвитку соляного карсту в Передкарпатті / Е. Д. Кузьменко, С. М. Багрій, О. П. Вдовина, М. В. Штогрин, В. А. Бучинський // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Серія “Геологія”, 2003. – Вип. 26–27. – С. 43–50.
- Чебан В. Д. Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі. Деякі аспекти застосування // Геофиз. журн. – 2001. – Т. 23, № 4. – С. 112–121.
- Хархалис Н. Р. Особенности проявления естественного импульсного электромагнитного излучения на оползневом склоне // Геофиз. журн. – 1994. – Т. 16, № 4. – С. 58–61.
- Особливості геодезичного моніторингу та прогнозування геотехногенної динаміки на шахтних полях калійних родовищ / К. О. Бурак, Е. Д. Кузьменко, С. М. Багрій, М. Я. Гринішак, Г. Г. Мельниченко та ін. // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 5. – С. 12–18.
- Оценка экспрессными методами эколого-геологической обстановки месторождения калийных солей “Стебник” в Предкарпатье (Украина) /

- А. В. Лущик, Н. И. Швырло, А. А. Лущик, Е. А. Яковлев, Э. Д. Кузьменко, Н. В. Штогрин // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. – 2001. – № 2. – С. 55–61.
- Саломатин В. Н. Закономерности геологических процессов и явлений, их связь с импульсной электромагнитной эмиссией : дис. д-ра геол.-минерал. наук : 04.00.07 / В. Н. Саломатин. – Симферополь, 1988. – 412 с.
- Саломатин В. Н. Методические рекомендации по изучению напряженного состояния пород методом регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) / В. Н. Саломатин, Ш. Р. Матов, Л. А. Защинский. – Симферополь : КИПКС, КОСНИО, 1991. – 88 с.
- Шуровский О. Д. Геофизический мониторинг геологической среды для решения экологических проблем в пределах агломерации г. Калуша / О. Д. Шуровский, С. Г. Аникеев, В. И. Шамотко, С. А. Дешиця // *Горный журнал*. – 2013. – № 12. – С. 99–104.
- Chalikakis K. Contribution of geophysical methods to karst-system exploration: an overview / K. Chalikakis, V. Plagnes, R. Guerin, R. Valois, F. P. Bosch // *Hydrogeology Journal*. – 2011. – Vol. 19. – P. 1169–1180.
- Gendzwil D. J. Rock mass characterization around Saskatchewan potash mine opening using geophysical techniques: a review / D. J. Gendzwil, D. Stead // *Canadian Geotechnical Journal*. – 1992. – Vol. 29, No. 4. – P. 666–674.
- Kovin O. Mapping of evaporite deformation in a potash mine using ground penetrating radar: Upper Kama deposit, Russia / O. Kovin // *Journal of Applied Geo-physics*. – 2011. – Vol. 74, Is. 2–3. – P. 131–141.
- Sanfirov I. A. Shallow geophysical exploration of the Upper Kama Potash Salt Deposit / I. A. Sanfirov, Yu. I. Stepanov, K. B. Fat'kin, I. Yu. Gerasimova, A. I. Nikiforova // *Journal of Mining Science*. – 2013. – Vol. 49, Is. 6. – P. 902–907.
- Van Schoor M. Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging / Van Schoor M. // *Journal of Applied Geophysics*. – 2002. – Vol. 50. – P. 393–399.
- Zhou W. Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography / W. Zhou, B. F. Beck, A. L. Adams // *Environmental Geology*, 2002. – Vol. 42. – P. 922–928.

Э. Д. КУЗЬМЕНКО, С. М. БАГРИЙ, И. В. ЧЕПУРНЫЙ, М. В. ШТОГРИН

Кафедра геотехногенной безопасности и геоинформатики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская 15, Ивано-Франковск, 76019, Украина, тел. +38(0342)504761, ел. почта: gbg@nung.edu.ua

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ ПОРОД В ПРЕДЕЛАХ СТЕБНИЦКОГО КАЛИЙНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ ЕИЭМПЗ

Цель. Целью работы является обоснование целесообразности применения метода естественного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для оценки опасности приповерхностной деформации горных пород вследствие эксплуатации Стебницкого месторождения калийной соли. **Методика.** Проведено геофизические исследования методом ЕИЭМПЗ для участков в пределах горного отвода Стебницкого месторождения калийной соли (Львовская область, Украина). В результате деформаций, возникающих при разработке месторождения за счет создания искусственных пустот и развития соляного карста, горные породы находятся в возбужденном состоянии, что вызывает электромагнитную эмиссию пород и соответствующие вариации импульсного электромагнитного поля. **Результаты.** Построены карты интенсивности излучения естественного импульсного электромагнитного поля Земли для исследованных участков Стебницкого месторождения калийной соли по трем антеннам, которые направлены по осям X (горизонтальная составляющая север – юг), Y (горизонтальная составляющая восток – запад), Z (вертикальная составляющая), а также для полного вектора поля. Статистическими методами исследована корреляция значений полного вектора ЕИЭМПЗ с фактическими значениями просадки дневной поверхности за период 2000–2014 гг. для одного профиля. Объектом исследований является участок автомобильной магистрали Львов – Трускавец (Львовская область, Украина) в пределах горного отвода Стебницкого месторождения калийной соли. Деформация дорожного полотна связана с наличием добычных камер под автомагистралью. Деформационные формы на дорожном полотне (трещины, заколи, “волны”) отражаются аномалиями интенсивности импульсного электромагнитного поля, наличие которых свидетельствует о аномальном напряженно-деформированном состоянии горных пород и возможности (вероятности) дальнейшего развития проседания поверхности земли в пределах контура выявленных аномалий. **Научная новизна.** На примере исследований зоны автодороги Львов – Трускавец в пределах Стебницкого месторождения калийной соли получила дальнейшее развитие система знаний об эффективности метода ЕИЭМПЗ в части обоснования и демонстрации связи параметров ЕИЭМПЗ с деформациями пород и движениями земной поверхности, которые отражены в деформациях дорожного полотна автомобильной магистрали. Трещины, заколи, “волны” на дорожном полотне качественно соответствуют изменению интенсивности и аномалиям электромагнитного поля, в котором не только

отражаются деформации, но и обозначаются пределы их распространения вследствие развития зоны аномалий напряженно-деформированного состояния горных пород. **Практическая значимость.** По результатам представленных исследований выполнено районирование зоны автодороги Львов – Трускавец в пределах Стебницкого месторождения калийной соли по степени опасности оседания горных пород. В соответствии с распределением нормированных значений интенсивности электромагнитного поля предложено установить определенные уровни опасности деформаций горных пород. Наличие мозаики низких, средних, повышенных и высоких уровней степени опасности деформации горных пород, согласованных с зонами деформации дорожного полотна, свидетельствует о сложной пространственной структуре деформаций пород в состоянии активной стадии проседания. Последнее побуждает к принятию управленческих решений о переносе автомобильной магистрали или ее постоянного ремонта в соответствии с развитием деформационных процессов.

Ключевые слова: карст; карстопровальная опасность; деформации пород; естественное импульсное электромагнитное поле Земли; Стебницкое калийное месторождение.

E. KUZMENKO, S. BAGRIY, I. V. CHEPURNYI, M. SHTOHRYN

Department of Geotechnical safety and Geoinformatics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15, Carpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine, tel. +38(0342)504761, e-mail: gbg@nunge.edu.ua

ESTIMATION OF HAZARDS OF THE SURFACE DEFORMATIONS OF ROCKS WITHIN STEBNYK POTASSIUM SALT DEPOSIT AREA BY METHOD ENPEMF

Purpose. The purpose of the paper is to substantiate of expediency of application of the method of the *Earth's natural pulse electromagnetic field* (ENPEMF) to assess the hazard of surface deformation of rocks as a result of exploitation of Stebnyk deposits of potassium salts. **Methods.** The geophysical survey used a method ENPEMF for areas within the mining allotment of Stebnyk deposits of potassium salts (Lviv region, Ukraine). As a result of deformations, that occur at development the deposit by creating artificial cavities and the development of salt karst, the rocks are not in stable condition, causing an electric discharge and related electromagnetic field variations. **Results.** Maps of natural radiation intensity pulsed the electromagnetic field of the Earth for the study areas of Stebnyk deposits for potassium salts by three antennas directed by axes X (horizontal component north – south), Y (horizontal component east – west), Z (vertical component), and for full vector field were produced. The correlation between values of the full vector ENPEMF with actual values of Earth's surface subsidence over the period 2000–2014 for one profile was investigated using statistical methods. Statistical evaluations investigated the correlation value vector complete with actual settling values of the Earth's surface for the period 2000–2014 for the profile. The objects of the research are sections of the Lviv-Truskavets road (Lviv region, Ukraine) within Stebnyk Potassium Salt Deposit Area. Road deformations are related to the presence of extractive chambers under the road. Deformation forms on a roadway (cracks, pin, waves) are shown by anomalies of the intensities of the impulsive electromagnetic field, the presence of whose indicates the deflected mode condition of rocks and the possibility (probability) of further subsidence of the Earth's surface within the contour of the identified anomalies. **Originality.** One example of originality of research is in the zone of the Lviv – Truskavets road, within the Stebnyk deposits of potassium salts. The system of knowledge about the effectiveness of the method ENPEMF through the justification and the demonstration of the connection between parameters ENPEMF with deformations of rocks and movements of the Earth's surface, which are reflected in deformations of the highway roadbed, received further development. Cracks and waves on the roadway qualitatively correspond to a change in the intensity of anomalies and electromagnetic fields, which not only reflected deformation but also indicate the limits of their distribution area as a result of the stress-strain state of the rocks. Cracks, (wave) on the roadway efficiently meet the changing intensity anomalies and electromagnetic fields, which not only reflected deformation, but also indicate the limits of their distribution area as a result of deflected mode condition of rocks. **The practical significance.** According to the results presented in the research the zonation was performed within a level of hazardous subsidence in the rocks for zone of Lviv – Truskavets road within Stebnyk deposits of potassium salts. In accordance with distribution of the rationed values of intensity of the electromagnetic field certain levels of hazard of rocks deformations are offered. The presence of a mosaic of low, medium, high and extreme levels of danger deformation of rocks consistent with deformation zones roadway, shows the complex spatial structural deformation of rocks on a stage of active phase of subsidence. The latter leads to make the managerial decision about the transfer of a highway or a permanent repair in accordance with the development of deformation processes.

Key words: karst; karst failure danger; deformations of rocks; Earth's natural pulse electromagnetic fields; Stebnyk deposits of potassium salts.

REFERENCES

- Bagrij S. M. *Heofizychnyy monitorynh heolohichnoho seredovyschcha v mezhakh rodovyschch kaliynoyi soli (na prykladi Kalush-Holyns'koho rodovyschcha)* [Geophysical monitoring of the geological environment within potassium salts deposits (for example Kalush Holyn deposit)]: *diss... kand. geol. nauk*: 04.00.22 [The dissertation of the candidate of geological sciences: speciality 04.00.22], Ivano-Frankivs'k., 2016, 163 p. (in Ukrainian).
- Bagrij S. M., Kuzmenko E. D. *Osoblyvosti zastosuvannya metodu pryrodnoho impul'snoho elektromahnitnoho polya Zemli dlya prohozu stiykosti masyvu hirs'kykh porid* [Features of the method of Earth's natural pulse electromagnetic field for the prediction of the stability of the rock mass], *XVIII Mizhnarodnyy naukovotekhnichnyy sympozium «Heoinformatsiynyy monitorynh navkolyshn'oho seredovyschcha: GNSS i GIS – tekhnolohiyi», 10–15 veresnya 2013 r., Alushta (Krym, Ukrayina): Zbirnyk materialiv* [XVIII International Scientific and Technical Symposium “Geoinformational Monitoring of Environment: GNSS and GIS Technologies”, September 10–15, 2013, Alushta (Crimea, Ukraine): Collection of materials], Lviv, *Vyd-vo “L'vivs'ka politehnika”* [“Lviv Polytechnic” Publ.], 2013, pp. 173–175 (in Ukrainian).
- Vorob'ev A. A. *Ravnovesie i preobrazovanie vidov jenerгии v nedrah* [Equilibrium and transform energies in the bowels], Tomsk, *Izd-vo Tomskogo un-ta* [Tomsk University Publ.], 1980, 211 p. (in Russian).
- Vorob'ev A. A. *Fizicheskie uslovija zaleganiya veshhestva v zemnyh nedrah* [Physical conditions of bedding material in the bowels of the earth], Tomsk, *Izd-vo Tomskogo politehn. in-ta* [Tomsk Polytechnic Institute Publ.], 1971, 270 p. (in Russian).
- Gajdin A. M., Rud'ko G. I. *Sul'fatnyy karst ta yoho tekhnohenna aktyvizatsiya* [Sulfate karst and its technogenic activation], Kiev, *Vyd-vo “Znannya”* [“Knowledge” Publ.], 1998, 75 p. (in Ukrainian).
- Kuz'menko E. D., Bezsmertnij A. F., Vdovina O. P., Kriv'juk I. V., Cheban V. D., Shtogrin L. V. *Doslidzhennya zsvynykh protsesiv heofizychnykh metodamy: monohrafiya* [Studies of landslides by geophysical methods: monograph]. Ed. E. D. Kuz'menko. Ivano-Frankivs'k, IFNTUNG [Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas], 2009, 294 p. (in Ukrainian).
- Kuz'menko E. D. et al. *Ekoloho-heofizychni doslidzhennya v Zakhidnomu rehioni Ukrayiny z metoyu prostezhennya rozvytku pryrodnoho i tekhnohennoho karstu ta suputnykh protsesiv* [Ecological and geophysical surveys in the western region of Ukraine to trace the development of natural and technogenic karst and related processes], *Zvit po NDR* [Report on Scientific and Research Work]. Ivano-Frankivsk, 2002 (in Ukrainian).
- Kuz'menko E. D., Bagrij S. M. *Ekoloho-heolohichnyy monitorynh po terytoriyi Kalus'koho hirnychopromyslovoho rayonu – plany ta realiyi* [Ecological and geological monitoring on the territory of of Kalush mining area – plans and reality], *Materialy dopovidey XII Mizhnarodnoyi konferentsiyi “Heoinformatyka: teoretychni ta prykladni aspekty”* Kyiv, 13–16 travnya 2013 r. [Materials of Reports of the XII International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects”, Kyiv, May 13–16, 2011], Kyiv, VAG [All-Ukrainian Association of Geoinformatics] (CD) (in Ukrainian).
- Kuz'menko E. D., Zhuravel' O. M., Shtogrin L. V., Chepurna T. B. *Prohnozuvannya ekzohennykh heolohichnykh protsesiv* [Forecasting of exogenous geological processes] *X Mizhnarodna konferentsiya “Heoinformatyka: teoretychni ta prykladni aspekty”*. Kyiv, 10-13 travnya 2011 r. [X International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects”, Kyiv, May 10–13, 2011], Kyiv, VAG [All-Ukrainian Association of Geoinformatics], 2011, (CD) (in Ukrainian).
- Koval'chuk S. P. *Postav' svoj dom pravil'no, (praktika geofizicheskogo metoda EIJeMPZ)* [Put your house properly (the practice of geophysical method ENPEMF)], Odesa, *Izd-vo “Chernomorec”* [“Chernomorec” Publ.], 2003, 112 p. (in Russian).
- Kuz'menko E. D., Bagrij S. M., Vdovyna O. P., Shtogryn M. V., Buchyns'ky V. A. *Kompleks heofizychnykh metodiv prohnozuvannya rozvytku solyanoho karstu v Peredkarpatti* [Complex of geophysical methods of forecasting of salt karst in Precarpathians]. *Visnyk KNU im. Tarasa Shevchenka. Seriya “Geologiya”*, 2003, issue 26–27, pp. 43–50 (in Ukrainian).
- Cheban V. D. *Metod pryrodnoho impul'snoho elektromahnitnoho polya Zemli. Deyaki aspekty zastosuvannya* [Method of Earth's natural pulse electromagnetic field. Some aspects of the application], *Geofiz. Zhurn.* [Geophysical Journal], 2001. T. 23, no. 4. pp. 112–121 (in Ukrainian).
- Harhalis N. R. *Osobennosti proyavleniya estestvennogo impul'snogo jelektromagnitnogo izluchenija na opolznevom sklone* [Peculiarities of natural pulsed electromagnetic radiation on landslide slope], *Geofiz. Zhurn.* [Geophysical Journal], 1994. T. 16, no. 4, pp. 58–61 (in Russian).
- Burak K. O., Kuz'menko E. D., Bagrij S. M., Grynishak M. Ya., Mel'nychenko G. G. et al. *Osoblyvosti heodezychnoho monitorynhu ta prohnozuvannya heotekhnohennoyi dynamiky na shakhtnykh polyakh kaliynykh rodovyschch* [Features of geodetic monitoring and forecasting geotechnical dynamics on mine fields potash deposits]. *Visnyk geodeziyi ta kartografiyi* [Bulletin of Geodesy and Cartography], 2014, no. 5, pp. 12–18 (in Ukrainian).

- Lushchik A. V., Shvyrlo N. I., Lushchik A. A., Jakovlev E. A., Kuz'menko E. D., Shtogrin N. V. *Ocenka ekspressnymi metodami ekologo-geologicheskoy obstanovki mestorozhdeniya kalijnyh solej "Stebnik" v Predkarpate (Ukraina)* [Evaluation by the express methods the ecological and geological situation in the potassium salt deposit "Stebnik" in Precarpathians (Ukraine)]. *Ekolohiya dovkillya ta bezpeka zhyttyediyal'nosti* [Ecology of the environment and life safety], 2001, no. 2, pp. 55–61 (in Russian).
- Salomatin V. N. *Zakonomernosti geologicheskikh processov i javlenij, ih svjaz' s impul'snoj elektromagnitnoj emissiej* [The regularities of geological processes and phenomena, their relationship with the pulse electromagnetic emission] : diss... d-ra. geol.-min. nauk: 04.00.07 [The dissertation of the doctor (professor) of geological-mineralogical sciences: speciality 04.00.07], Simferopol', 1988, 412 p. (in Russian).
- Salomatin V. N., Mastov Sh. R., Zashhinskij L. A. *Metodicheskie rekomendacii po izucheniju naprjazhennogo sostojaniya porod metodom registracii estestvennogo impul'snogo jelektromagnitnogo polja Zemli (EIEMPZ)* [Methodical recommendations for the Study of the stress state of rock by recording of Earth's natural pulse electromagnetic field (ENPEMF)], Simferopol' : KIPKS, KOSNIO, 1991, 88 p. (in Russian).
- Shurovskij O. D., Anikeev S. G., Shamotko V. I., Deshhića S. A. *Geofizicheskij monitoring geologicheskoy sredy dlja reshenija ekologicheskikh problem v predelah aglomeracii g. Kalusha* [Geophysical monitoring of the geological environment for solving environmental problems within the agglomeration of Kalush], *Gornyj zhurnal* [Mining Journal], 2013, no. 12, pp. 99–104 (in Russian).
- Chalikakis K., Plagnes V., Guerin R., Valois R., Bosch F.P. Contribution of geophysical methods to karst-system exploration: an overview. *Hydrogeology Journal*, 2011, vol. 19, pp. 1169–1180.
- Gendzwill D. J., Stead D. Rock mass characterization around Saskatchewan potash mine opening using geophysical techniques: a review. *Canadian Geotechnical Journal*, 1992, vol. 29, pp. 666–674.
- Kovin O. Mapping of evaporite deformation in a potash mine using ground penetrating radar: Upper Kama deposit, Russia. *Journal of Applied Geophysics*, 2011, vol. 74, Issue 2-3, pp. 131–141.
- Sanfirov I. A., Stepanov Yu. I., Fat'kin K. B., Gerasimova I. Yu., Nikiforova A. I. Shallow geophysical exploration of the Upper Kama Potash Salt Deposit. *Journal of Mining Science*, 2013, vol. 49, Issue 6, pp. 902–907.
- Van Schoor M. Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 2002, vol. 50, pp. 393–399.
- Zhou W., Beck B. F., Adams A. L. Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography. *Environmental Geology*, 2002, vol. 42, pp. 922–928.

Надійшла 21.10.2016 р.