

УДК (552.53:551.243):550.837/.838(477.87)

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРІД СОЛОТВИНСЬКОЇ СОЛЯНОКУПОЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ЗАКАРПАТТІ (ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МЕТОДУ ПРИРОДНИХ ІМПУЛЬСІВ ЕЛЕКТРО-МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ)

ASSESSMENT OF COMPLEX STRESS-STRAIN STATE OF THE SOLOTVYNO SALT ANTICLINE STRUCTURE (BASING ON TECHNIQUE OF NATURAL PULSE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE EARTH)

**Є.О. Яковлев, С.Б. Шехунова, М.В. Алексєєнкова, Н.П. Сюмар
Evgen O. Yakovlev, Stella B. Shekhunova, Maryna V. Aleksieienkova, Natalia P. Siumar**

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 55-b O. Honchara Str., Kyiv, Ukraine, 01601 (yakovlev@niss.gov.ua)

Наведено результати експресних досліджень методом природних імпульсів електромагнітного поля Землі Солотвинської солянокупольної структури в Закарпатті для оцінки сучасного напружено-деформованого стану гірського масиву порід, визначення локальних неоднорідностей та прогнозу розвитку небезпечних геологічних процесів. Виміри виконано у 410 пунктах спостережень, що розташовані за 14 профілями. Отримані результати перераховано у комплексний сигнал, значення якого змінюються від 49,25 до 2297,68. З метою оцінки мінливості комплексного сигналу було обраховано його градієнти. Максимальні значення комплексного сигналу та його градієнтів встановлено в межах шахтного поля шахти № 9 та вздовж північного крила структури, що свідчить про максимально напружений стан масиву на цих ділянках. Мінімальні значення та градієнти встановлено в районі південно-західної перикліналі структури в ділянці «Затон». Виконаний комплекс досліджень дозволив прогнозувати розвиток деформацій солепородного масиву по периферійних зонах шахтних полів і за межами зони прогнозних осідань, в тому числі південних схилів гори Магура з ризиком активізації зсувних деформацій. Ключові слова: соляний карст, природні імпульси електромагнітного поля Землі, напружено-деформований стан, природно-техногенна геосистема, Солотвинська солянокупольна структура, Закарпатський прогин.

The paper presents the results of express research using the natural pulses of the Earth's electromagnetic field in the Solotvyno salt anticline structure in the Transcarpathia to assess the current stress-strain state of rock mass, to determine local heterogeneities and development of dangerous geological processes forecast. Measurements were made at 410 monitoring points located on 14 profiles. The obtained results were recounted in the complex signal, the values of which vary from 49.25 to 2297.68. In order to assess the variability of the complex signal, its gradients were calculated. Within the mine field of the mine № 9 and along the structure's north wing the maximum value of the integrated signal and its gradients were established, indicating the maximum mass stress state of these areas. In the region of the southwest periclinal of the structure in the Zaton area the minimum values and gradients were established. Completed research complex allowed to predict the development of deformations of the salt rock mass along the peripheral zones of the mine fields and beyond the forecast subsidence area, including the southern slopes of Mount Mahura with the risk of landslide deformations activation. Keywords: salt karst, natural pulses of the electro-magnetic field of the Earth, stress-deformed state, natural-technogenic geosystem, Solotvyno salt anticline structure, Transcarpathian through.

ВСТУП

Солотвинська солянокупольна структура (ССКС, Solotvyno Salt Anticline Structure – SSAS), що адміністративно розташована у Тячівському районі Закарпатської області, містить однойменне родовище кам'яної солі, яке є одним з великих родовищ в Україні (рис. 1). З середини 90-х років минулого століття на його працюючих рудниках почали виникати проблеми, що призвели до небезпечної екологічної ситуації техногенного характеру, яка набула державного рівня з 2010 р. (експертний висновок МНС України від 09.12.2010 р. № 02-17292/165). У результаті було зупинено роботу ДП «Солотвинський солерудник», втрачено видобуток кам'яної солі, припинено функціонування підземного відділення спелеосанаторію Української алергологічної лікарні МОЗ України та обласної лі-

карні, діяльність яких була пов'язана безпосередньо з гірничими виробками діючих соляних шахт, втрачено унікальну лабораторію з вивчення елементарних частинок Інституту фізики НАН України.

На теперішній час на території родовища відбувається деградація ландшафту, дестабілізація рельєфу та інші небезпечні техногенно-геологічні процеси, що поширюються за межі гірничого відводу рудників. Стан навколишнього природного середовища продовжує погіршуватися (рис. 2). Небезпечні процеси карстоутворення активно проявляються в районі шахт № 7-9. Так, у межах західного флангу поля шахти № 8 у квітні 2015 р. утворилося нове найпівденніше провалля площею 5,5 тис. м², об'ємом понад 200 тис. м³. Руйнування міжповерхових та міжкамерних ціликів призводить до катастрофічних просідань земної поверхні з негатив-

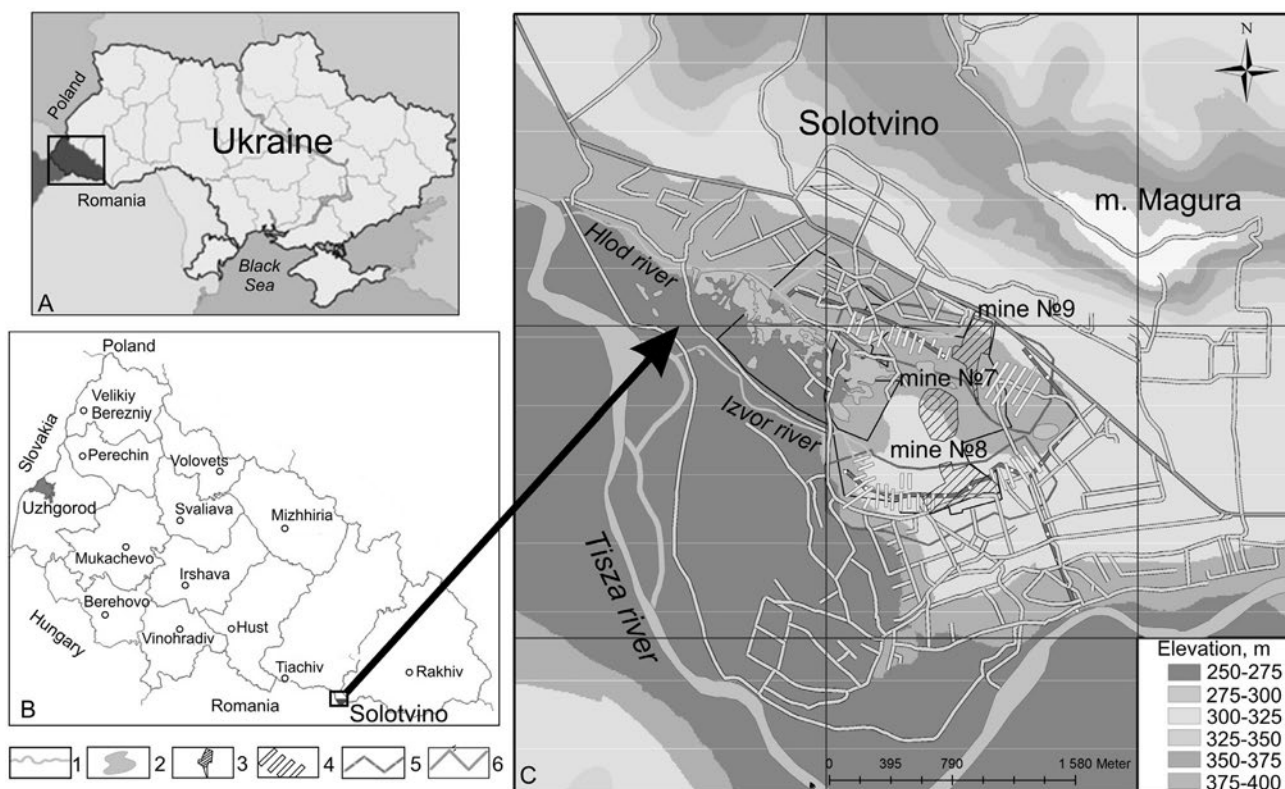


Рис. 1. Положення Солотвинської антикліналі з Солотвинським родовищем кам'яної солі на карті України (А), Закарпатської області (В), смт Солотвино (С):

1 – річки, струмки, потічки; 2 – солоні озера; 3 – шахтні поля; 4 – контури підземних виробок; 5 – водовідвідні шахти; 6 – інфраструктура: дороги, вулиці, шляхопроводи, залізничні колії.

Fig. 1. Solotvino salt anticline with the Solotvino rock salt deposit geographic setting on the map of Ukraine (A), Transcarpathian region (B), Solotvino urban village (C):

1 – rivers, streams; 2 – salt lakes; 3 – mine fields; 4 – mine outline; 5 – mine drainage; 6 – infrastructure: roads, streets, overpasses, railways.

ним впливом на стан поверхневих споруд, промислових будівель, інженерних мереж, існуючу інфраструктуру селища. Крім того, порушення ландшафту, його деградація в результаті неконтрольованого розвитку соляного карсту, забруднення поверхневих та підземних вод – все це дає підстави сусіднім державам (Угорщина, Румунія) турбуватися з приводу загроз транскордонного погіршення екологічних параметрів забруднення р. Тиса. В результаті знищення геологічної галузі (відсутність бюджетного фінансування) на території родовища втрачено рештки системи гідрогеологічного та будь-якого інструментального моніторингу. Державне підприємство з видобування кам'яної солі перейменовано у підприємство з ліквідації рудників. Силами працівників цього підприємства виконуються тільки візуальні спостереження за територією гірничого відводу рудників (а не за всією солянокупольною структурою) та постфактум фіксуються на поверхні прояви небезпечних геологічних процесів – просідання, провалля, карстові воронки.

У 2015 р. Міністерство закордонних справ України за ініціативи низки державних структур (Державна служба з надзвичайних ситуацій, Міністерство аграрної політики і продовольства України, Міністерство екології та природних ресурсів, Закарпатська державна обласна адміністрація, ФАО ООН та ін.) та угорські урядові і державні організації ініціювали звернення до ЄС щодо залучення експертної місії Європейського Союзу в Україну для проведення оцінки загроз і ризиків надзвичайної ситуації державного рівня, що склалася на території ДП «Солотвинський солерудник». У процесі підготовки матеріалів від НАН України для здійснення місії з метою отримання експресної інформації для оцінки сучасного стану гірського масиву над відпрацьованим простором родовища, визначення локальних неоднорідностей та прогнозу розвитку небезпечних геологічних процесів було досліджено напружений стан ССКС методом природних імпульсів електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ, Natural Pulse Electromagnetic Field of the Earth – NPEMFE), результати наведено у даній публікації.

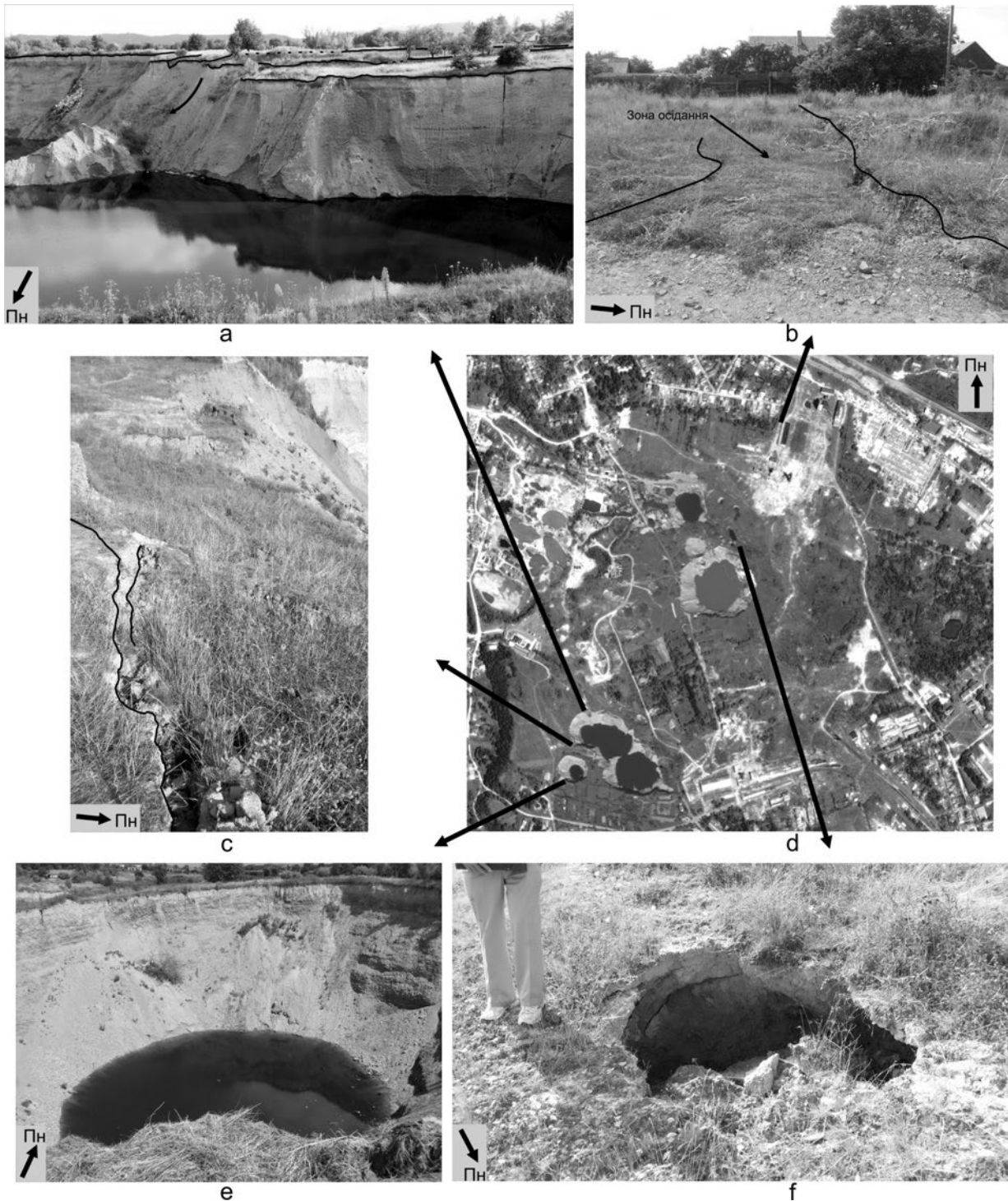


Рис. 2. Деградація ландшафту на території Солотвинського родовища кам'яної солі (станом на серпень 2016 р.): а – новітній зсув на південному борті провалля над виробками шахти № 8 та уступи осідання над відпрацьованим простором; б – система тріщин на поверхні в межах шахтного поля шахти № 9; с – свіжий закол на південному борту провалля над виробками шахти № 8; d – зображення поверхні східної частини ССКС з проваллями та іншими проявами небезпечних явищ, які деталізовано на рис 2 а, б, с, е, f; е – провалля на західному фланзі шахти № 8, що утворилося у квітні 2015 р.; f – новітні прояви карстових процесів на північ від провалля над шахтою № 7.

Fig. 2. Recent degradation of the Solotvyno rock salt deposit landscape (August 2016): a – new formed landslide on southern part sinkhole Mine № 8 and levels of subsidence over mine field; b – cracks system on the surface above Mine Field № 9; c – collapse subsidence above Mine Field № 9 with new cracks; d – area aerial view of eastern part of SSAS with collapses, subsidences, sinkholes (more detailed shown in the pic. 2 a, b, c, e, f); e – collapse above the western flank of the mine № 8, which was formed in April 2015; f – the latest karst processes manifestations to the north from the collapse above Mine № 7.

В якості апіорної геологічної інформації було використано елементи інтегральної геологічної моделі Солотвинської структури розробленої в Інституті геологічних наук НАН України (Шехунова та ін., 2015).

СОЛОТВИНСЬКА СОЛЯНОКУПОЛЬНА СТРУКТУРА: ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Геологічні аспекти будови ССКС. Солотвинське родовище кам'яної солі розташоване в опущеному блоці на південь – південно-західному продовженні Дібровської та Солотвинської антиклиналей. За характером будови надсоляний план наближається до брахіантиклінальної складки з соляним ядром (Петрашкевич, Лозиняк, 1983). Потужність солі в ядрі антикліналі понад 1500 м. Кути падіння порід солотвинської та тересвинської світ, які обрамляють шток, станов-

лять 40-60°. Нахил бокових крил соляного масиву значно крутіший від кутів падіння вміщуючих порід. Зона бокового контакту солі і вміщуючих порід має тектонічну природу, ускладнена гіпо- та екзогенними процесами, має зони подрібнення, брекчіювання, тріщинуватості тощо і являє собою потенційні та вже реалізовані шляхи міграції підземних і поверхневих вод. Породи солотвинської та тересвинської світ (сірі, темно-сірі глини, вапняковисті мергелі, глинисті вапняки та вапняковисті пісковики з кальцитом) в районі родовища розділені трьома горизонтами дацито-ліпаритових туфів, із яких два простежуються по всій площі родовища. Вміщуючі породи перекривають соляне тіло у вигляді останців. Поверхня ядра солянокупольної структури характеризується розчленованістю (рис. 3, 5, 6), яка сформувалася в результаті ерозійної діяльності р. Тиса, вод алювіальних утворень терас, дрібних струмків та атмосфер-

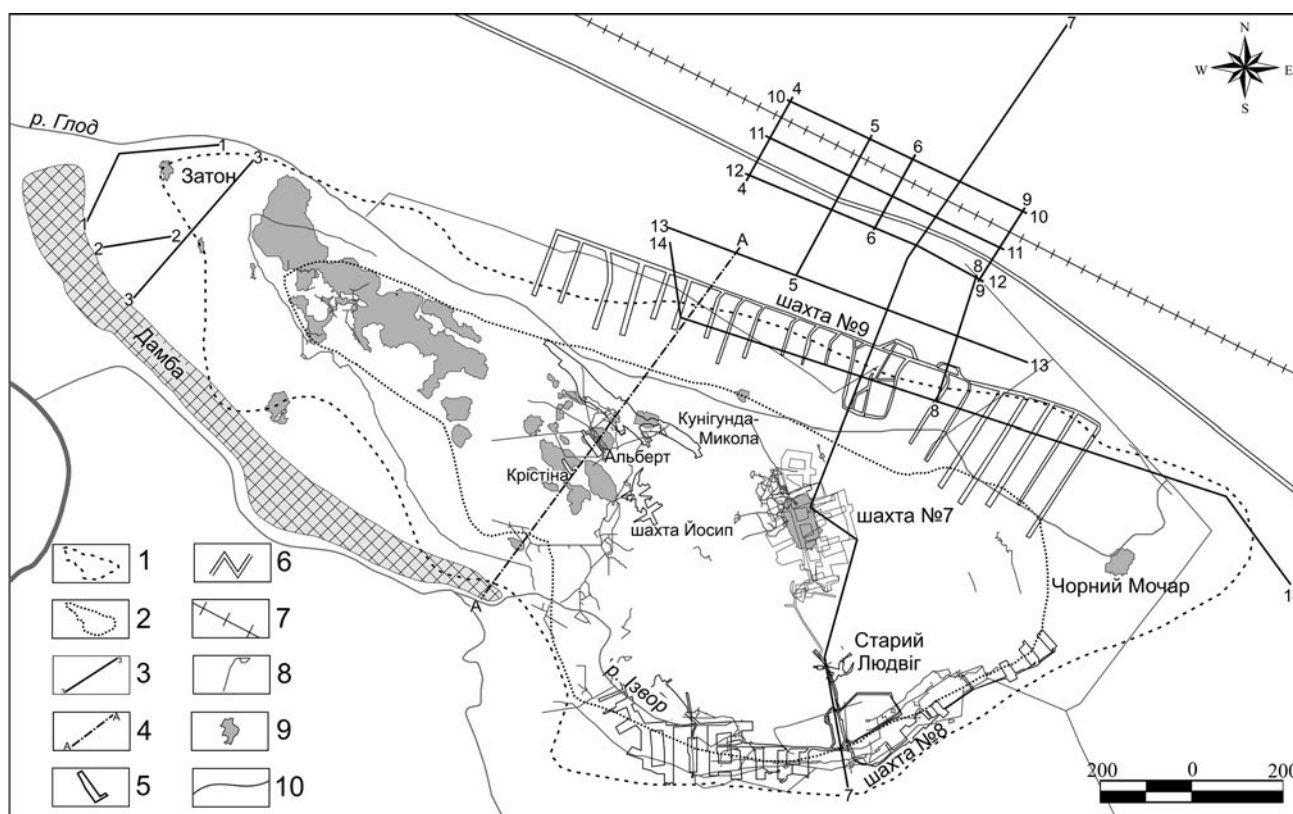


Рис. 3. Схема Солотвинського родовища кам'яної солі з розташуванням профілів досліджень методом ПІЕМПЗ, виконаних у серпні 2016 р.:

1 – контур виходу соляних порід на абсолютній відмітці «0»; 2 – контур виходу соляних порід під алювіальні відклади; 3 – профілі ПІЕМПЗ; 4 – геологічний розріз; 5 – контури шахтних полів; 6 – траса Н-09 Мукачєво – Івано-Франківськ; 7 – залізнична колія; 8 – водовідвідні шахти; 9 – солоні озера; 10 – річки, потічки.

Fig. 3. Base map of Solotvyno rock salt deposit with profile NPEMFE (august, 2016):

1 – salt-bearing rocks outline in absolute level «0»; 2 – salt-bearing rocks outline under alluvial deposits; 3 – NPEMFE profile; 4 – geological sections; 5 – mine area outline; 6 – motor-road highway H-09 Mukachevo – Ivano-Frankivsk; 7 – railway; 8 – mine drainage; 9 – salt lakes; 10 – rivers, streams.

них опадів, новітніх неотектонічних рухів, а також техногенної діяльності. Рельєф поверхні соляного ядра структури має абсолютні відмітки, що змінюються від 187 до 285 м.

Внутрішня будова ядра ССКС (рис. 4) дисгармонійно-кладчаста, блоково-лінзова, представлена чергуванням прошарків та лінз чистої кам'яної солі, кам'яної солі з різним вмістом водонерозчинного залишку, пластів, шарів, лінз та блоків внутрішньосолевих теригенних, соляно-теригенних та брекчійованих прошарків. Внутрішня будова структури характеризується присутністю ізоклінальних та дисгармонійних складок, пластичних та розривних деформацій.

Важливим елементом моделі локального рівня є наявність у вміщуючих породах розломів різного рангу. Диз'юнктивні порушення суттєво впливають на гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови, які на родовищі останніми десятиліттями суттєво змінювалися. Гідрогеологічні умови родовища визначають надсольові (горизонти кватера), навколосольові (солотвинська та тересвинська світи), внутрішньосольові (верхньотереблінська підсвіта, наразі це переважно техногенно карстові води затоплених гірських виробок) та підсольові води. На водоносність та геомеханічну напруженість солепородного масиву значно впливають диз'юнктивні

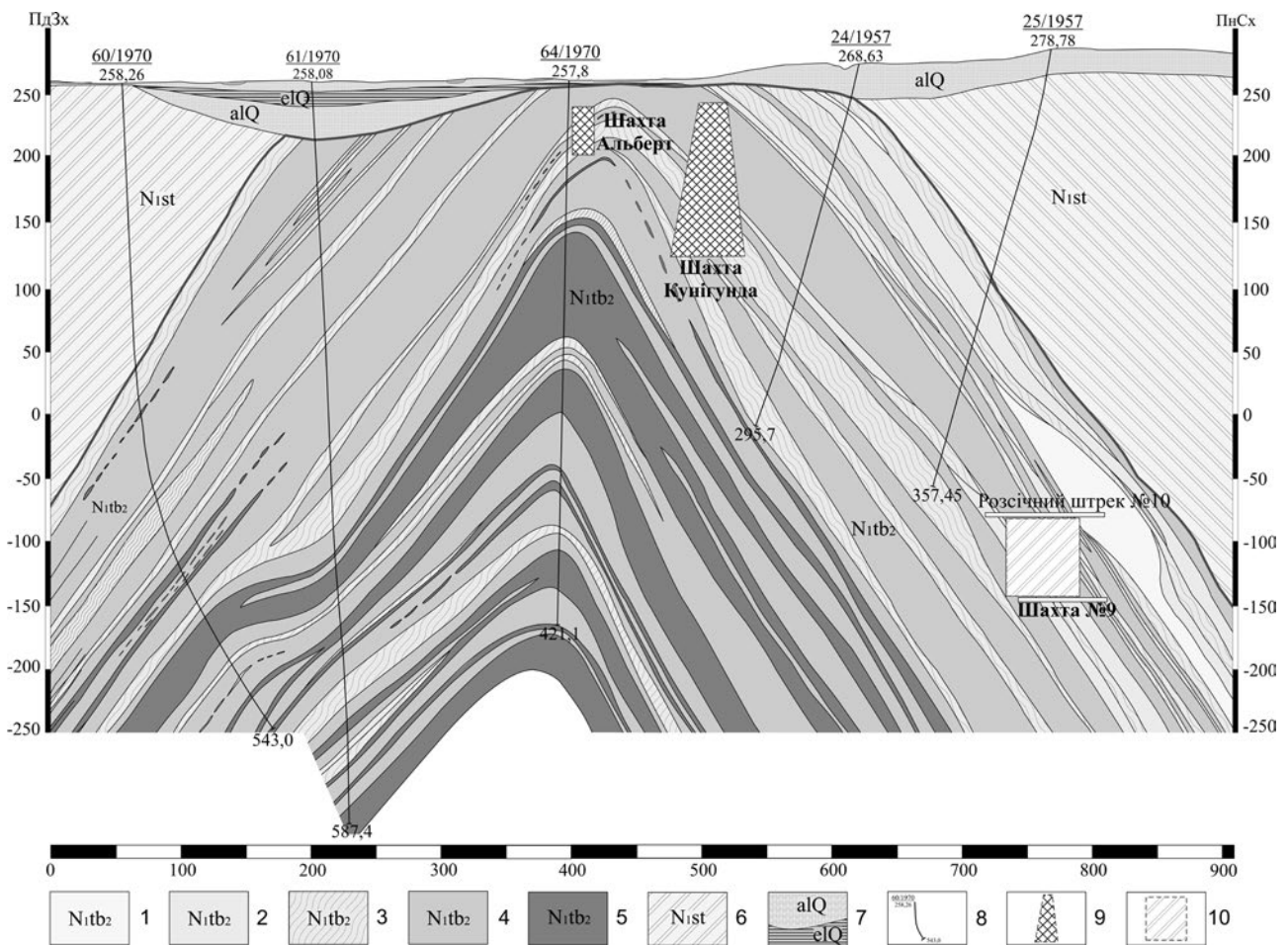


Рис. 4. Геологічний розріз Солотвинського родовища кам'яної солі за (Шупіков, 1970):

1 – тереблянська світа, кам'яна сіль біла, NaCl ≥ 98,2%; 2 – тереблянська світа, кам'яна сіль біла, світло-сіра, NaCl ≥ 97,5%; 3 – тереблянська світа, кам'яна сіль світло-сіра та сіра, NaCl ≥ 97,0%; 4 – тереблянська світа, кам'яна сіль сіра, землиста, NaCl < 97,0%; 5 – тереблянська світа, теригенні породи: глини, аргіліти; 6 – солотвинська світа, ритмічне перешарування аргілітів, пісковиків, туфів, тріщинуватих; 7 – четвертинні відклади, валунно-галечникові породи та глина темно-сіра «палаг»; 8 – свердловини; 9 – орієнтовні контури підземних виробок старих шахт; 10 – контур підземної камери шахти № 9.

Fig. 4. Geological sections of the Solotvyno rock salt deposit:

1 – Tereblianska suite, alternating rock salt: white, water insoluble residue (i.r.) content up to 2 %; 2 – tereblianska suite, alternating rock salt: white, light gray, i.r. content up to 2,5 %; 3 – Tereblianska suite, alternating rock salt: light gray and gray, i.r. content less than 3 %; 4 – Tereblianska suite, alternating rock salt: gray, earthy, i.r. content more than 3 %; 5 – Tereblianska suite, alternating: clays, mudstones; 6 – Solotvynska suite, alternating: siltstone mudstone, sandstone and tuff; 7 – Quater sediments, alternating: boulder-gravel beds and clay («palah»); 8 – borehole; 9 – old mine outline; 10 – mine № 9 outline.

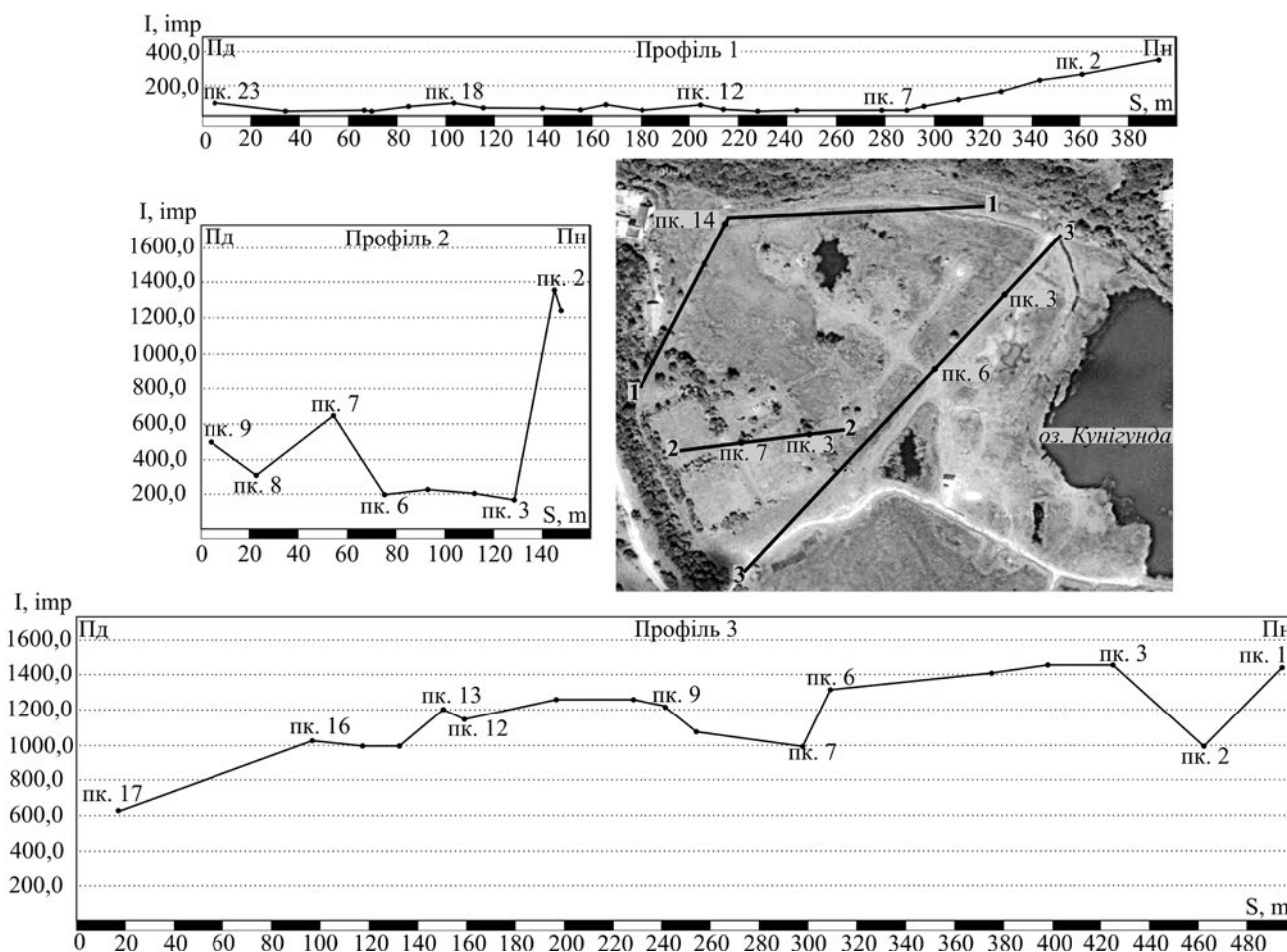


Рис. 5. Профілі ПІЕМПЗ з розподілом комплексного сигналу, ділянка «Затон».

Fig. 5. NPEMFE profiles, «Zaton» area.

порушення, які ще недостатньо вивчені. Частина з них фіксується виходом напірних вод.

Загальна інформація про техногенну діяльність на ССКС. Територія ССКС з одноіменним родовищем кам'яної солі, яке інтенсивно розробляється з кінця XVIII ст., зазнала значного техногенного впливу. В північно-східній частині родовища були старі шахти «Кунігунда», «Миколай», «Альберт», «Христина», «Йосип», які припинили своє існування, оскільки були затоплені водою. Найбільші техногенні об'єкти, що працювали у ХХ-ХХІ ст., зосереджені переважно у західній частині структури. Це дев'ять видобувних шахт, водовідливні (шахти, шурфи, штольні), вентиляційні (стволи), старі дренажні споруди, дамба та ін. (рис. 1, 2). Всі шахти наразі затоплені або затоплюються (шахта № 8). В районі перших шахт було пройдено велику кількість дренажних штолень, загальна довжина яких сягала понад 4 км. Водовідливні виробки, що мали у своїй основі невеликої потужності шар слабо проникного піщано-глинистого шару («палагу») або безпосеред-

ньо сіль, виявилися недовговічними і руйнувалися, активізуючи при цьому карстові процеси. В межах Солотвинського родовища пройдено понад 18 тис. м водовідливних споруд. Більшість з яких закладено до 1940 р., а найбільш вдалу – Тиса-штольнію – в 1904 р. На початок 1990-х років функціонувало близько 7000 м споруд (Селянчин, 1995). В межах Солотвинського родовища кам'яної солі (крім Північної ділянки) з 1922 по 1982 р. було пробурено понад 500 наземних свердловин. Зрозуміло, що гідрогеомеханічний стан соляного масиву значно змінився в результаті розробки шахтами та всіма зазначеними об'єктами. Всі роки техногенний карст стимулювався водовідливною системою та відкачуванням водоприпливів з шахт. В центральній частині штоку глибина деградації соляного масиву перевищує 200 м, а на затоплених шахтах визначається глибиною відпрацьованого простору. Ситуацію погіршив і спосіб відроблення корисної копалини, яка на шахті № 8 відпрацьовувалася буровибуховим (та комбайновим), а на шахті № 9 вибуховим способом.

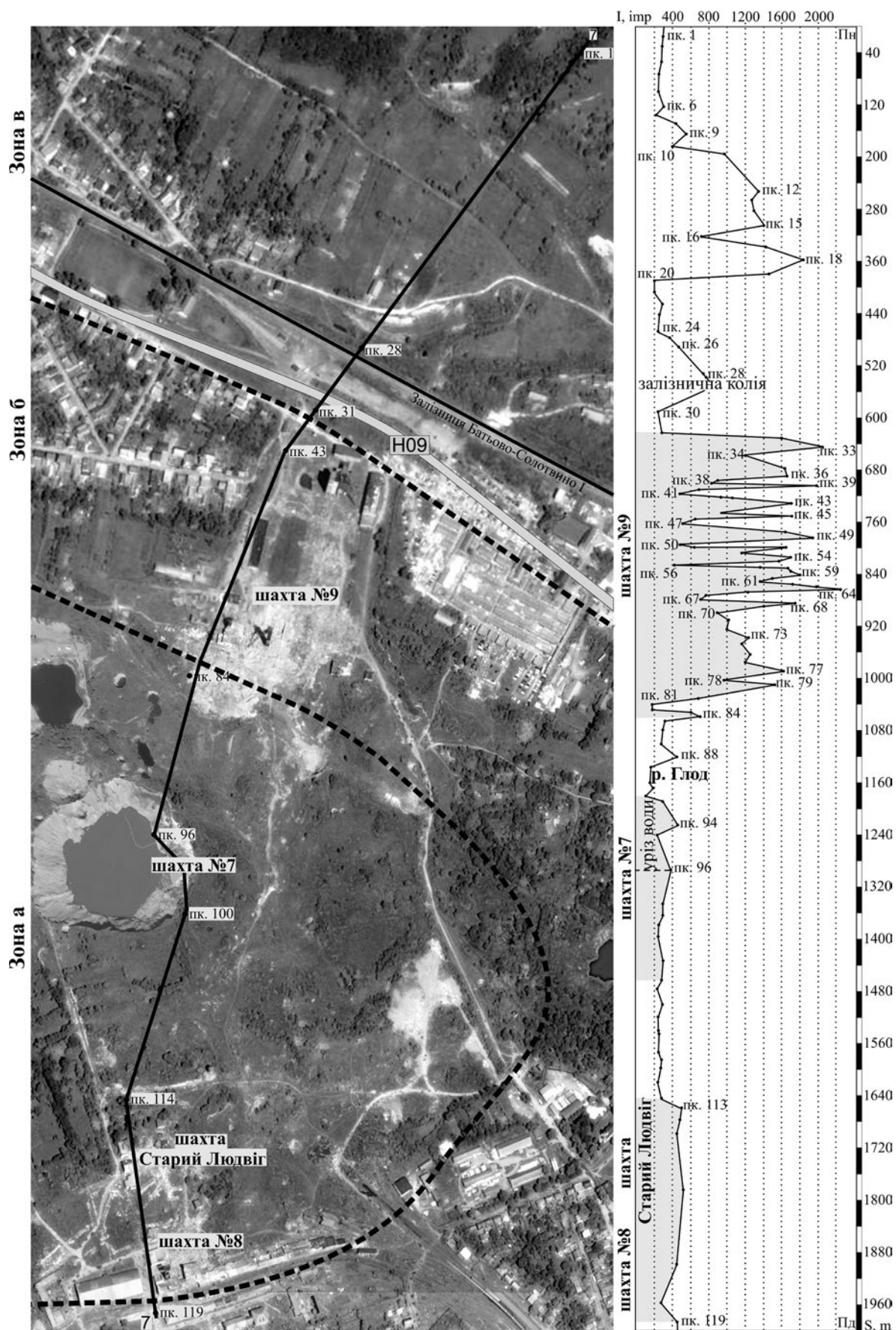


Рис. 6. Профіль ПІЕМПЗ з розподілом комплексного сигналу за напрямом «гора Магура – шахта № 8».
 Fig. 6. NPEMFE profile «m. Magura – mine №8».

Стан соляного масиву визначається значними об'ємами відпрацьованого простору, який перевищує 15 млн м³, а з орієнтовним урахуванням розчинених та винесених солей в результаті суфозійно-карстових процесів – 20 млн. м³.

Наведені гірничо-технічні та структурно-геологічні характеристики шахт ССКС та Солотвинського родовища свідчать про значні техногенні порушення геодинамічного та гідрогеофільтраційного режимів верхньої зони соляного штоку та суттєві варіації геомеханічних напруж як у солепородному масиві, так і у чохла осадкових покривних порід. У цих умовах застосовано метод ПІЕМПЗ для вивчення особливостей зміни електромагнітних полів по ділянках солепородного масиву та вміщуючих порід, які знаходяться у принципово відмінному стані та оцінки варіацій просторового поля геомеханічних напруж техногенно-геологічної системи «видобувні камери шахтних полів – соляне ядро антиклінальної структури».

МЕТОД ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Загальна інформація про метод ПІЕМПЗ. Із практики інженерно-геофізичних досліджень напруженого стану породних масивів у природному і техногенно порушеному стані – у складі техногенно-геологічних систем «техногенний об'єкт – геологічне середовище» відомо, що метод ПІЕМПЗ є одним із ефективних геофізичних методів для оцінки неоднорідностей полів геомеханічних напруж. Найбільш ефективно метод ПІЕМПЗ спрацьовує при дослідженні змін полів геомеханічних напруж, зумовлених тектонічними порушеннями, геоструктурними контактами, зонами підвищеної фільтрації, тріщинуватості, геофільтраційними потоками, в тому числі гідрогеодеформаційними полями, гірничими виробками (Методические..., 1991; Чебан, 2001; Саломатин, Шкіца, 2003; Саломатин, Жиленко, 2006; Туманов, 2007 та ін.).

Діагностика напруженого стану здійснюється шляхом дистанційного вимірювання швидкості випромінювання імпульсів електромагнітного поля поблизу досліджуваного об'єкту. Фізична сутність метода полягає у генерації електромагнітного поля елементами геологічного середовища (мінералами, порами, гірськими породами), що перебувають під впливом механічних сил стиснення або розтягування. Зміна частоти у зв'язку зі зміною напруженого стану виникає за рахунок зміни мікроупорядкованості елементів середови-

ща. Тобто механічні напруги вносять свої корективи до будови середовища, створюють додаткову поляризацію, яка зумовлює резонансну взаємодію середовища з зовнішнім електромагнітним полем (Методические..., 1991; Кузьменко, Багрій, 2011 та ін.). Використовуються частоти майже звукового діапазону 0,1-50 кГц. У пористих середовищах спостерігається залежність діелектричної проникності від питомої поверхні пор і зовнішньої електричної поляризації.

Теоретичні та експериментальні дослідження свідчать, що в зонах підвищеного та пониженого гірського тиску проявляються такі геофізичні ефекти (Чебан, 2001; Саломатин, Шкіца, 2003; Кузьменко, 2003; Саломатин, Жиленко, 2006; Туманов, 2007; Кузьменко, Багрій, 2011 та ін.):

гірські породи, що знаходяться в напруженому стані, концентрують в дефектах структури електричні заряди і при мікродеформаціях випромінюють електромагнітні імпульси, зокрема, в результаті тертя, адгезії, когезії, п'єзо ефектів (при фазових переходах), фільтрації рідини в капілярах, порах та ін.;

при зміні механічної напруги (навантаження) стрибкоподібно змінюється кількість електромагнітних імпульсів: збільшення навантаження призводить до зростання кількості електромагнітних імпульсів, а у момент руйнування суцільності породи та утворення тріщин сколювання або відриву кількість імпульсів різко зменшується і надалі залишається дуже малою;

фільтрація рідини в капілярах, порах та інших порожнинах також супроводжується поляризацією та виникненням природного імпульсного електромагнітного поля Землі;

водонасичені прошарки поглинають електромагнітні імпульси.

Аналіз площинного розподілу ПІЕМПЗ дає змогу виділяти зони різнонапруженого стану, прогнозувати області обводнення, замочування, фільтрації води та розвиток небезпечних інженерно-гідрогеологічних процесів (Пикареня, Орлинская, 2009). Тобто механо-електричні перетворення, що відбуваються в елементах гірських порід, сприяють отриманню інформації про процеси, які відбуваються в надрах.

Особливості та обмеження застосування методу ПІЕМПЗ на Солотвинській соляній антикліналі. В межах ССКС метод ПІЕМПЗ був використаний для вивчення напружено-деформованого стану солепородного масиву з урахуванням методичних розробок та досвіду

досліджень Українського державного геологорозвідувального інституту Мінприроди (проф. А.В. Лущик, М.І. Швирло, проф. В.М. Саломатин та ін.) і Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу (проф. Е.Д. Кузьменко, канд.техн.наук С.А. Багрій).

При адаптації методу ПІЕМПЗ для умов Солотвинського родовища нами було враховано, що фактори змін поля геомеханічних напруг солепородного масиву, який є антиклінальною структурою з соляним ядром та вміщуваними породами, мають значні відмінності, які обумовлені структурними (плікативні та диз'юнктивні тектонічні порушення), літологічними, гірничо-технічними (просторове розташування відпрацьованих виробок камер), гідрогеологічними, геоморфологічними та сейсмо-геофізичними чинниками. В якості апріорної інформації для визначення схеми досліджень та інтерпретації результатів було використано елементи інтегральної геологічної моделі Солотвинської структури розробленої в Інституті геологічних наук НАН України (Шехунова та ін., 2015). Виходячи з того, що глибинність методу крім частотного діапазону приладу (2-50 кГц) залежить від геологічної будови, літологічного складу та гідрогеологічних особливостей (тобто електричних властивостей геологічного середовища) за особливостями факторів впливу на електромагнітне поле досліджуване геологічне середовище поділено на зони, які було враховано при визначенні схеми досліджень та інтерпретації результатів. В межах досліджуваної території виділено такі зони (рис. 6): **а** – виходу соляного ядра структури під утворення кватеру (з ділянками шахтних полів, активного карстоутворення, просідання, підвищеної потужності утворень кватеру); **б** – контакту соляного ядра та вміщуваних порід (з ділянками ускладненими тектонічними порушеннями); **в** – південний схил гори Магури (з ділянками поверхневої ерозії).

Досліджувана територія, особливо північна частина зон **а** та **б**, а також південна частина зони **в** перенасичена об'єктами, що проявляються за результатами зондування як техногенні завади (кабельні лінії та лінії мережі 50 Гц, залізниця, залізобетонні та металеві конструкції) та штучні джерела електромагнітних завад (високовольтні лінії, трансформаторна підстанція, наводки 50 Гц). Їх присутність враховувалася при визначенні пікетів спостережень та інтерпретації результатів.

Вимірювання і реєстрацію трьох компонент (N_x , N_y , N_z) ПІЕМПЗ на цій площі проведено автоматизованим пристроєм (РХІНДС-ПМ-05, Івано-

Франківський національний технічний університет нафти та газу) за низкою профілів. Вимірювання інтенсивності сигналів (N/c — кількість імпульсів за 1 с.) горизонтальних (N_x , N_y) і вертикальної (N_z) компонент здійснювалось у максимально широкій частотній смузі 2-50 кГц відповідно до технічних характеристик пристрою.

Враховуючи складний структурно-геологічний та техногенно-геодинамічний стан території досліджень для оцінки структури прояву порушень електромагнітного поля Землі внаслідок впливу геомеханічних напружень породного масиву ССКС була визначена така схема обстеження:

1) оцінка показників ПІЕМПЗ у межах ділянки «вододіл гори Магура – русло р. Тиса», яка охоплює основні структурно-геологічні та техногенні (шахтні поля, міська забудова, транспортна інфраструктура та ін.) комплекси;

2) виміри величини ПІЕМПЗ переважно по профілях вхрест ділянки річкової долини «вододіл гори Магура – русло р. Тиса» з деталізаційними профілями вздовж залізниці, республіканської автотраси, дренажних штолень (рис. 3);

3) відстань між профілями становила 50-300 м, між пунктами спостережень на профілях – 5-50 м, що корелювалося з розмірами солевидобувних камер та техногенно порушеними елементами рельєфу.

За наведеною методикою було пройдено 14 профілів з 410 пунктами спостережень параметрів ПІЕМПЗ. Враховуючи просторову структуру вимірів параметрів ПІЕМПЗ по осях X , Y , Z їх відповідні значення x_i , y_i та z_i були перераховані у комплексний сигнал ПІЕМПЗ за такою залежністю:

$$S = (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)^{1/3}$$

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПІЕМПЗ НА ССКС, ПОЛЯХ СОЛОТВИНСЬКИХ СОЛЕДОБУВНИХ ШАХТ І ПРИЛЕГЛИХ ДІЛЯНКАХ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати польових спостережень опрацьованих за методикою Івано-Франківського інституту нафти і газу (Кузьменко, 2003; Кузьменко, Багрій, 2011) і представлених у вигляді комплексного сигналу за профілями, наведено у табл. 1.

За результатами спостережень ПІЕМПЗ в межах території досліджень (природно-техногенна геосистема «Солотвинська промислово-міська агломерація – геологічне середовище») була побудована карта-схема профільних значень ПІ-

ЕМПЗ з виділенням зон підвищених значень комплексного сигналу. При побудовах враховувалося положення профілів щодо границь шахтних полів, карстово-провальних форм, деформацій схилів, транспортної інфраструктури, промислових і житлових об'єктів, локальні поля геомеханічних напруг яких впливали на параметри ПІЕМПЗ.

Як видно з табл. 1 величини комплексного сигналу I змінюються від 49,25 до 2297,68, досягаючи максимальних значень в межах шахтного поля шахти № 9, а мінімальних – у районі ділянки «Затон». Найбільші значення мінливості комплексних сигналів ПІЕМПЗ встановлено на ділянках вздовж північного крила структури. Спостерігаються підвищені значення комплексних сигналів ПІЕМПЗ за межами прогнозних зон осідань поверхні. Поле ПІЕМПЗ на ділянці «Затон» практично недеформоване (рис. 5); профіль 1, пройдений вздовж зовнішнього краю південно-західного замикання соляного ядра, відрізняється низькими значеннями комплексного сигналу – до 200 імп., вищі значення встановлено вхрест простягання соляного ядра від 620 до 1400 імп. між пікетами 17 та 5. Підви-

щені значення та градієнти комплексного сигналу характерні для північної частини ділянки, що можна пояснити впливом тектонічного порушення, яке проходить у північній частині ділянки «Затон».

Аналізуючи дані табл. 1 в частині лінійної щільності кількості N пікових значень імпульсів ПІЕМПЗ по довжині L ключових профілів (L/N км/імп) та їх зв'язок з відношеннями екстремальних значень (I_{max}/I_{min}) (рис. 7), можна стверджувати таке:

1. показники пружно-деформованого стану техногенно порушених ділянок ССКС мають значні відмінності у межах розглянутих профілів 1-4;
2. співвідношення щільності пікових показників у профілях ПІЕМПЗ (L/N , I_{max}/I_{min}) мають подібний характер та експоненційну залежність $I_{max}/I_{min}=f(L/N)$;
3. генерація максимальної неоднорідності профіля ПІЕМПЗ в зоні впливу гірничих виробок шахти № 9 (рис. 6, 8) може бути обумовлена їх максимальною глибиною, примиканням до контактної розломної зони та підніжжя зсувонебезпечного схилу гори Магура.

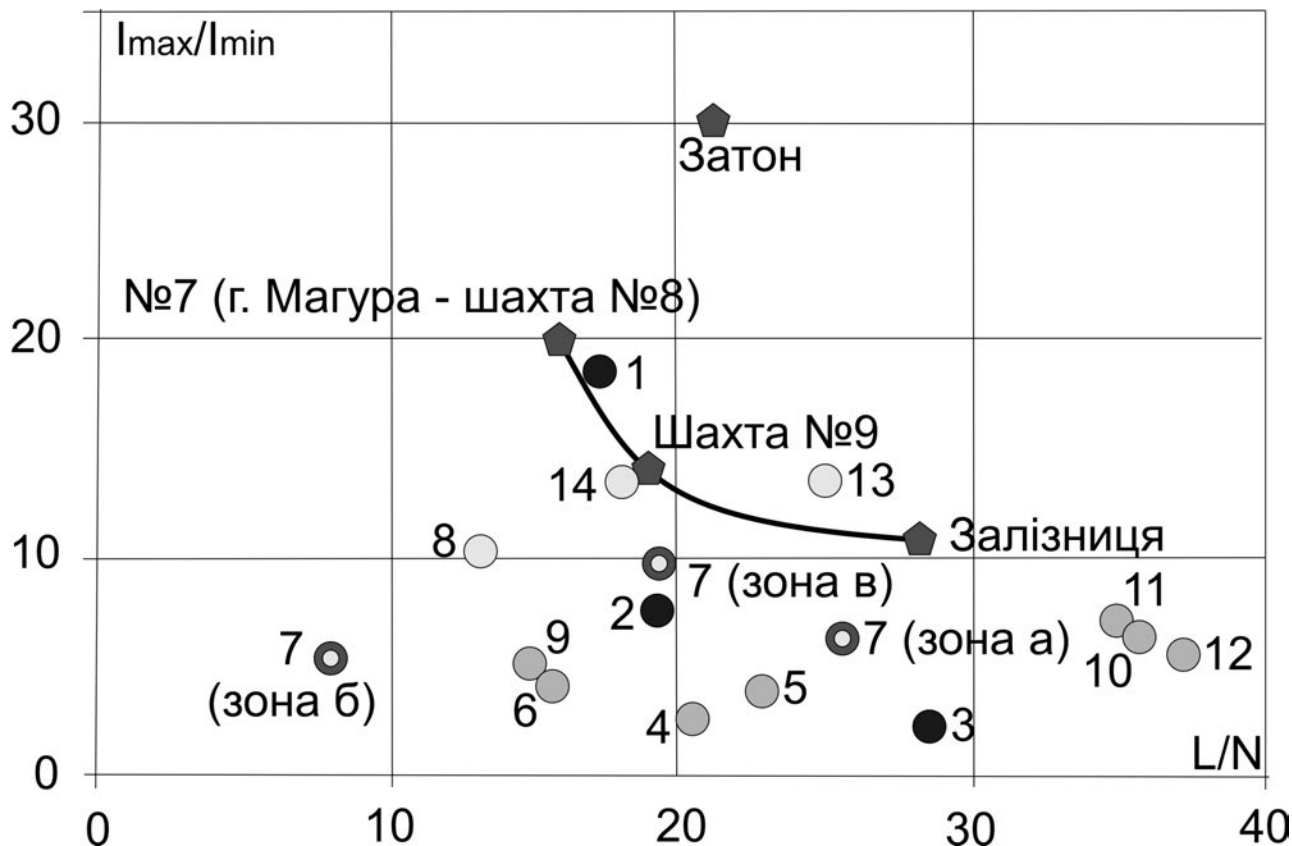


Рис. 7. Характеристика неоднорідності профілів ПІЕМПЗ.

Розташування профілів показано на рис. 3 та відповідають результатам наведеним в табл. 1.

Fig. 7. Characteristics of heterogeneity NPEMFE profiles.

Location profiles according fig. 3 and correspond to the results in table. 1.

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРІД СОЛОТВИНСЬКОЇ СОЛЯНОКУПЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Таблиця 1. Узагальнені результати досліджень напруженості ПІЕМПЗ на ССКС, представлені у вигляді комплексного сигналу I за профілями

Table 1. The summarized results of the NPEMFE stress studies on the SSAS presented as a complex signal I on profiles

Деталізаційні профілі	Кількість	Загальна довжина (L), п.м.	Кількість пікетів (N)	L N	Відстань, м		I, число імпульсів			$\frac{I_{max}}{I_{min}}$
					між профілями	між пікетами	min	max	med	
«г. Магура – шахта №8»	1	1970,23	125	15,8	–	10-50	112,82	2239,85	775,68	19,9
7 (зона в)		592,27	31	19,11		10-40	190,00	1836,4	632,27	9,67
7 (зона б)		390,23	49	7,96		10-20	424,74	2239,74	1294,57	5,27
7 (зона а)		987,73	39	25,33		10-50	112,83	698,63	302,42	6,19
Ділянка «Залізниця»	7	2674,80	95	28,2	100-200	10-50	190,89	2069,89	795,75	10,8
4		204,38	10	20,4		10-50	486,8	1246,25	817,78	2,56
5		342,09	15	22,8		10-30	417,25	1620,63	950,47	3,88
6		170,34	11	15,5		10-50	245,10	1028,43	647,53	4,20
9		178,11	12	14,8		10-30	190,89	990,00	479,50	5,19
10		569,00	16	35,6		10-50	198,60	1310,77	606,90	6,60
11		561,77	16	35,1		10-50	232,11	1608,61	564,62	6,93
12		557,39	15	37,2		10-50	369,04	2069,89	993,59	5,61
Шахта №9	3	2817,48	140	20,1	50-150	10-40	163,72	2297,68	1072,83	14,0
8		287,06	22	13,07		10-25	158,18	1638,98	404,24	10,36
13		848,40	34	24,95		10-40	169,95	2297,68	1263,28	13,52
14		1682,90	94	17,9		10-40	165,12	2231,70	1018,31	13,52
Ділянка «Затон»	3	1032,16	49	21,1	50-300	15-50	49,25	1477,7	556,13	30,0
1		395,79	23	17,21		10-40	49,25	912,89	202,05	18,54
2		152,99	8	19,12		10-25	178,96	1357,79	567,46	7,58
3		483,38	17	28,43		10-50	654,13	1477,70	1178,91	2,26

Таблиця 2. Узагальнені результати мінливості напруженості ПІЕМПЗ на ССКС, представлені у вигляді градієнтів комплексного сигналу за профілями

Table 2. The generalized results of the NPEMFE intensity variation on the SSAS, presented as a complex signal gradients by profiles

Деталізаційні профілі	Гرادієнт комплексного сигналу		
	min	max	med
«г. Магура – шахта №8»			
7 (зона в)	1,57	45,05	19,66
7 (зона б)	7,5	198,9	66,59
7 (зона а)	1,21	5,00	3,09
Ділянка «Залізниця»			
4	2,00	34,67	22,02
5	2,50	75,25	30,01
6	8,35	31,86	21,32
9	2,85	40,25	17,30
10	1,50	40,25	17,29
11	2,50	34,29	17,25
12	4,70	47,70	19,96
Шахта №9			
8	1,50	96,52	33,02
13	1,50	66,59	20,66
14	1,00	225,34	43,19
Ділянка «Затон»			
1	1,00	3,00	2,00
2	0,76	63,62	22,02
3	1,07	26,95	8,10

З метою оцінки мінливості комплексного сигналу було обраховано його градієнти (табл. 2) та побудовано карту (рис. 8). Мінімальні градієнти комплексного сигналу ПІЕМПЗ встановлено в районі південно-західної перикліналі структури на ділянці «Затон» (профілі 1, 3; рис. 5) та над апікальною зоною східної частини структури (профіль 7, зона а, пікети 85-112; рис. 6). Такий стабільно низький комплексний сигнал можна пояснити реалізованими деформаціями (знятими напругами в полі карстових воронок, просідань та провалів) масиву соляних порід та/або водонасиченістю порід верхньої части-

ни розрізу, що призводить до поглинання імпульсів. Найвищі градієнти комплексних сигналів ПІЕМПЗ (табл. 2) характерні для широкої зони вздовж контакту соляного ядра структури та вміщуючих порід (профіль 7, зона б, пікети 31-83; рис. 6), що просторово збігається з північним крилом структури та поширенням шахтного поля рудника № 9 (профілі 8 та 14; рис. 8). На карті градієнтів мінливості комплексного сигналу (рис. 8) виокремлюються поля максимумів градієнтів, які вказують на об'єми високонапружених порід, що є потенційно-небезпечною зоною розвитку деформацій.

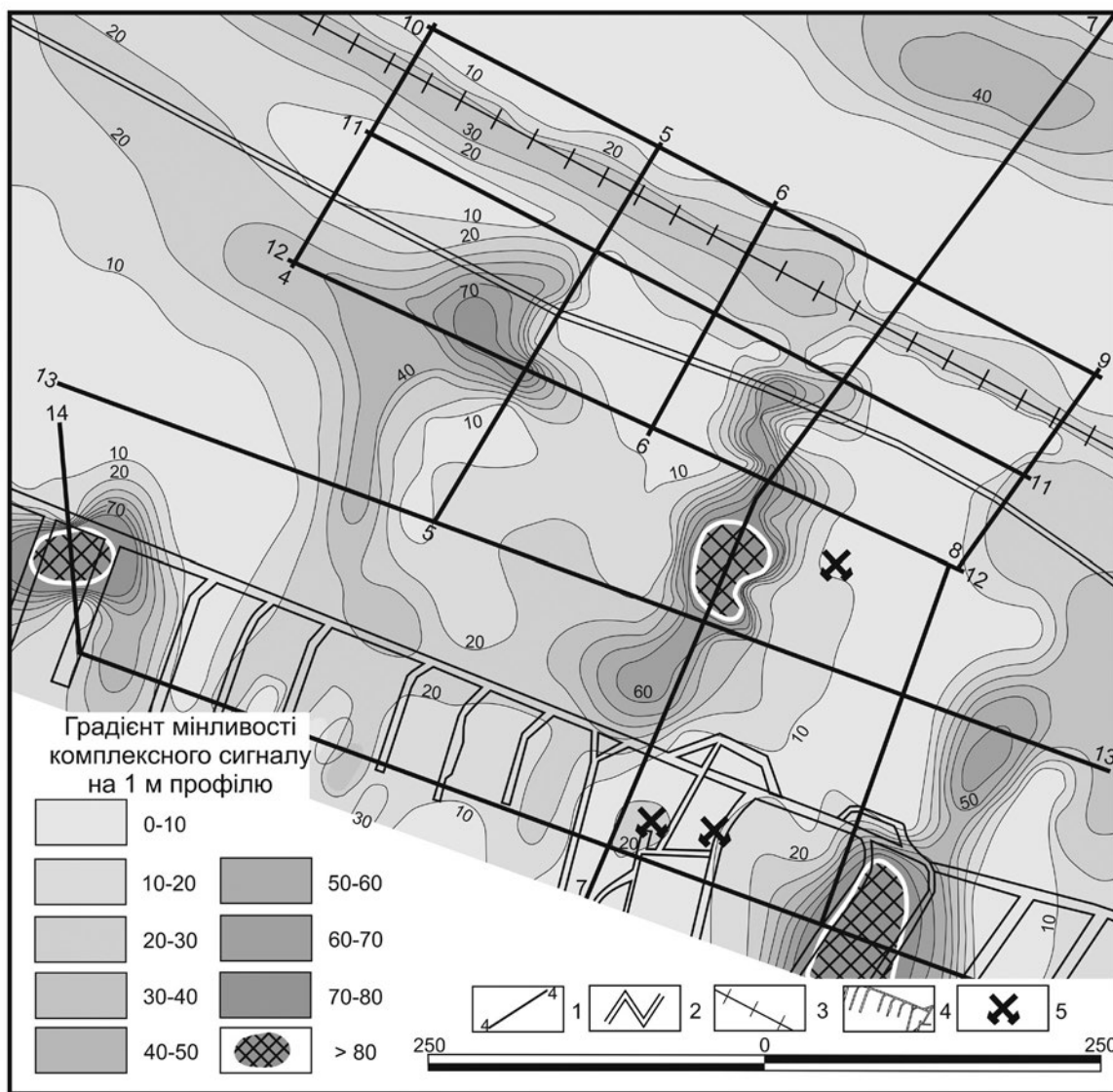


Рис. 8. Градієнти мінливості комплексного сигналу ПІЕМПЗ на 1 м вздовж профіля:
 1 – деталізаційні профілі, 2 – траса Н-09 Мукачєво – Івано-Франківськ, 3 – залізнична коля, 4 – гірничі виробки шахти № 9, 5 – шахтні стволі.

Fig. 7. Variability gradients of complex NPEMFE signal on 1 m of profile:
 1 – profiles NPEMFE; 2 – highway motor-road H-09 Mukachevo – Ivano-Frankivsk; 3 – railway, mine № 9; 4 – mine area outline; 5 – mine shafts.

Результати досліджень структури полів ПІЕМПЗ в межах природно-техногенної геосистеми «техногенний комплекс Солотвинського солерудника – геологічне середовище солянокупольної структури» дозволили отримати принципово нові дані про напружено-деформований стан шахтних полів, структурно-тектонічні границі та прилеглі території. Крім того, одержані дані вказують на порушення рівноважного стану південних схилів гори Магура, які структурно примикають до поля шахти № 9 та її скіпового ствола (в низці документів його називають шахта № 10) і де зараз відбувається активна забудова. Ця територія є потенційно-небезпечною зоною розвитку деформацій з утворенням зсувонебезпечних явищ.

ВИСНОВКИ

В цілому, виконані дослідження засвідчили, що комплексування експресних електро-, магнітометричних досліджень з елементами інтегральної геологічної моделі та інших традиційних методів навіть в умовах значних техногенних порушень структурно-геологічних, геомеханічних та гідрогеофільтраційних параметрів соляних родовищ дають змогу експресно оцінювати основні еколого-геологічні наслідки закриття шахт, обґрунтовувати структуру екомоніторингу зон впливу гірничовидобувних робіт, оптимізувати методику та склад подальших еколого-геологічних досліджень та захисних заходів.

Солепородний масив Солотвинської соляної антиклиналі на сучасному етапі природно-техногенних перетворень знаходиться у складному екогеодинамічному стані подальшого розвитку немеханічних деформацій і руйнування гірничих виробок шахт № 7-9 та просторово-часового розширення порушень геологічного середовища.

В результаті проведених робіт виділено ділянки напружено-деформованого стану в зонах інтенсивного розвитку карстових процесів. Отримані дані мають практичне значення, підтверджують високу геологічну інформативність методу ПІЕМПЗ та доцільність його включення в систему геолого-геофізичного моніторингу гірничо-промислових агломерацій.

Виконаний комплекс досліджень дозволив встановити розвиток деформацій солепородного масиву по периферійних зонах шахтних полів і за межами зони прогнозних осідань, що пов'язано з надходженням агресивних інфільтраційних та ґрунтових вод у гірничі виробки глибоких горизонтів. Це, в свою чергу, призводить до подальшого

послаблення міжкамерних ціликів, руйнування стелин з наступним розвитком деформацій денної поверхні, в тому числі південних схилів г. Магура з ризиком активізації зсувних деформацій.

За зазначених інженерно-геомеханічних умов подальші деформації поверхні, житлових та промислових об'єктів будуть мати відносно уповільнений, але довгостроковий характер, що є ще одним аргументом створення досконалої структури моніторингу природно-техногенної геосистеми «Солотвинська промислово-міська агломерація – геологічне середовище».

Активність техногенно стимульованих екзогенних процесів може призвести до збільшення соляного стоку у транскордонну р. Тиса, але за попередніми оцінками, без перевищення ГДК.

Територіальне порушення геомеханічної рівноваги породного масиву Солотвинського соляного штоку та зниження його сейсмо-інженерно-геологічної стійкості обумовлює необхідність проведення детальних сейсмо-геофізичних досліджень і моніторингових спостережень, враховуючи ризик розвитку гідрогеомеханічних деформацій і техногенних землетрусів.

З метою запобігання реалізації негативних сценаріїв рекомендовано:

1. Виконання комплексного еколого-геологічного обстеження з першочерговим проведенням експресних геофізичних (мікрогравіка, акустика та ін.), гідрогеохімічних, інженерно-геодезичних, дистанційних, газогеохімічних досліджень та ін.;
2. Удосконалення комплексної інтегральної геологічної моделі Солотвинської структури за результатами зазначених у п.1 досліджень, зокрема деталізація літо-геодинамічного та гідрогеофільтраційного з блоком гідрогеоміграційного (гідрогеохімічного) елементів;
3. Створення системи гідрогеологічного та інженерно-геологічного моніторингу геологічного середовища як головного депо більшості техногенних змін та небезпек в межах території «вододіл гори Магура – русло транскордонної р. Тиса» та його комплексування з системою спостережень у Румунії та Угорщині;
4. Визначення за результатами моделювання на основі новітніх даних (пп. 1, 2) першочергових природоохоронних та захисних заходів та розробка Схеми комплексного використання мінерально-сировинних ресурсів Солотвинського родовища та екологічно збалансованого розвитку Солотвинської промислово-міської агломерації.

REFERENCES

- Kuzmenko Ye.D., Bagrii S.M., 2011. About the suitability of karst research within potash and rock salt deposits using electric methods, *Geodynamics*, vol. 2 (11), pp. 134-137. (In Ukrainian).
- Kuzmenko Ye.D., Bagrii S.M., Shtogrin N.V., 2003. To the problem of salt karst mapping in the Transcarpathia region, *Scientific Bulletin of the National Mining Academy*, vol. 6., pp. 82-87. (In Russian).
- Methodological recommendations for rocks stress condition study using the technique of Natural Pulse Electromagnetic Field of the Earth (NPEMFE), 1991, 27 p. (In Russian).
- Petrashkevych M.Y., Lozyniak P.Yu., 1983. Report. Scientific substantiation of oil and gas exploration directions in the Transcarpathian through, *UkrDHRI fonds*, 79 p. (In Ukrainian).
- Pikarenia D.S., Orlinskaia O.V., 2009. The technique of natural pulse electromagnetic field of the Earth (NPEMFE) applying experience for solving engineering geological and geological problems, 120 p. (In Russian).
- Salomatin V.N., Zhilenko O.B., 2006. Overview of the application areas of the geophysical express method NPEMFE, *Construction and industrial safety*, vol. 15-16, pp. 213-216. (In Russian).
- Salomatin M.V., Shkitsa L.Ye., 2003. Mechanical and electric transformations in solids with defective structure and possibilities of its application for geoecological problems solution, *Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Oil and Gas Technical University*, vol. 1 (5), pp. 77-80. (In Ukrainian).
- Selyanchin M.I., 1995. Report. Additional exploration deep horizons of mine №8 Solotvyno rock salt deposit in 1992-1995, *Geoinform of Ukraine*, inv. № 55852, vol. 1, 328 p. (In Ukrainian).
- Tumanov V.V., Savchenko A.V., Bogak M.Yu., Shurkhoveretskiy S.A., 2007. Minefields geodynamic structure evaluation using geophysical methods, *Scientific works of the UkrNDMI NAS of Ukraine*, vol. 1, pp. 115-127. (In Russian).
- Cheban V.D., 2001. The technique of natural pulse electromagnetic field of the Earth. Application aspects, *Geophysical Journal*, vol. 23, №4, pp. 112-121. (In Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Stadnichenko S.M., Siumar N.P., 2015. The integrated geological model of Solotvyno structure as a tool to assess geological sustainability of Solotvyno rocksalt deposit, *Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*, vol. 8, pp. 233-250. (In Ukrainian).
- Shupikov A.R., Sabov Yu.V., Vasilev I.N., Taschi V.M., 1970. Report. Additional exploration in 1967-1970 of Solotvyno rock salt deposit (Transcarpathian region), *Geoinform of Ukraine*, inv. № 32263, vol. 1, 120 p. (In Russian).
- Кузьменко Е.Д. Про доцільність дослідження карсту на родовищах калійної та кам'яної солі електричними методами / Е.Д. Кузьменко, С.М. Багрий // *Геодинаміка*. – 2011. – № 2 (11). – С. 134-137.
- Кузьменко Э.Д. К вопросу картирования соляного карста в Закарпатье / Э.Д. Кузьменко, С.М. Багрий, Н.В. Штогрин // *Наук. вісн. Нац. гірн. Акад. України*. – 2003. – № 6. – С. 82-87.
- Методические рекомендации по изучению напряженного состояния горных пород методом ЕИЭМПЗ. – Симферополь: ИМП, 1991. – 27 с.
- Петрашкевич М.Й. Наукове обґрунтування напрямків пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ в Закарпатському прогині / М.Й. Петрашкевич, П.Ю. Лозиняк. – Львів, 1983 р. – 79 с. – Фонди УкрДГРІ,
- Пикареня Д.С. Опыт применения метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для решения инженерно-геологических и геологических задач / Д.С. Пикареня, О.В. Орлинская. – Днепропетровск, 2009. – 120 с.
- Саломатин В.Н. Обзор областей применения геофизического экспресс-метода ЕИЭМПЗ / В.Н. Саломатин, О.Б. Жиленко // *Строительство и техногенная безопасность*. – 2006. – Вып. 15-16. – С. 213-216.
- Саломатін М.В. Механоелектричні перетворення в твердих тілах із дефектною структурою та можливе рішення за їх допомогою геологоекологічних задач / М.В. Саломатін, Л.Є. Шкіца // *Наук. вісн. Івано-Франків. Нац. техн. ун-ту нафт і і газу*. – 2003. – № 1 (5). – С. 77-80.
- Селянчин М.І. Звіт про результати дорозвідки кам'яної солі глибоких горизонтів в межах поля шахти № 8 Солотвинського родовища за 1992-1995 р.р. Тячевський р-н Закарпатської області. – Берегово, 1995 р. – кн. 1. – 328 с. – Геоінформ України, інв. № 55852.
- Туманов В.В. Оценка геодинамического строения шахтных полей геофизическими методами / В.В. Туманов, А.В. Савченко, М.Ю. Богак, С.А. Шурховецкий // *Наук. Пр. УкрНДМІ НАН України*. – 2007. – № 1. – С. 115 – 127.
- Чебан В.Д. Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі. Деякі аспекти застосування // *Геофизический журнал* – 2001. – Том 23, № 4. – С. 112-121.
- Шехунова С.Б. Інтегральна геологічна модель Солотвинської структури як інструмент оцінки геоекологічного стану Солотвинського родовища кам'яної солі / С.Б. Шехунова, М.В. Алексєєнкова, С.М. Стадніченко, Н.П. Сюмар // *Зб. наук. пр. ІГН НАН України*. – 2015. – Т. 8. – С. 233-250.
- Шупиков А.Р. Отчет о доразведке в 1967-1970 гг. Солотвинского месторождения каменной соли в Закарпатской области. / А.Р. Шупиков, Ю.В. Сабов, И.Н. Васильев, В.М. Тащи // – Берегово, 1970 г. – кн. 1. – 120 с. – Геоінформ України, інв. № 32263 .

Manuscript revised 3 October 2016;
revision accepted 15 November 2016

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна.