

# Дослідження та методи аналізу

---

УДК 550.830

## РЕЄСТРАЦІЯ СПОНТАННОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕМІСІЇ ЗЕМЛІ В АКВАТОРІЇ ЧОРНОГО МОРЯ

<sup>1</sup>І.Г. Захаров, <sup>2</sup>Д.А. Яцюта

<sup>1</sup>ТОВ «Південь-нафтогазгеологія»; м. Київ, вул. Раскової, 23, к. 729,  
тел. +38 (044) 3903269

<sup>2</sup>ДП «Науково-дослідний інститут нафтогазової промисловості» НАК «Нафтогаз України»;  
Київська обл., Києво-Святошинський р-н, м.Вишневе, вул. Київська 8, тел. +38 (044) 3917401,  
e-mail: info@naukanaftogaz.com

Автори статті вважають, що основними вихідними принципами, на яких має будуватися теорія спонтанної електромагнітної емісії літосфери є нерівноважність, нелінійність, нестійкість структури середовища. Автори показують, що СЕМЕЗ слід розглядати як частину складного нелінійного явища – акустосейсмoeлектромагнітного шуму літосфери, що має дифузійну природу і утворюється при просочуванні флюїдів через твердотільну компоненту земних надр. Однією із незвичайних властивостей СЕМЕЗ є можливість його проходження через добре провідну товщу морської води, що, згідно класичним уявленням, для даного діапазону частот представляється неможливим.

Автори підкреслюють важливість подальшого дослідження та накопичення даних про СЕМЕЗ на акваторіях, оскільки вони дають інформацію для вирішення ряду практичних завдань з вивчення будови земної кори на акваторіях, пошуку корисних копалин, у тому числі, можливо, скупчень газогідратів.

У статті описуються експериментальні спостереження, які проводилися на 6 профілях (2 субмеридіональних і 4 субширотних) в північно-західній частині Чорного моря. Детально розглядаються особливості випромінювання СЕМЕЗ з невеликих глибин, на яких утворюються скупчення газогідратів.

Автори статті приходять до висновку, що, незважаючи на значні перешкоди, вихідні дані та результати інтерпретації, отримані в ході експериментальних спостережень, вказують на присутність у зареєстрованому сигналі інформації про будову земних надр.

Ключові слова: літосфера, корисні копалини, газогідрати, інтерпретація.

Автори статті вважають, що основними вихідними принципами, на яких повинна будуватися теорія спонтанної електромагнітної емісії літосфери є нерівноважність, нелінійність, нестійкість структури геосередовища. Автори показують, що СЕМЕЗ слід розглядати як частину складного нелінійного явища – акустосейсмoeлектромагнітного шуму літосфери, що має дифузійну природу і утворюється при просочуванні флюїдів через твердотільну компоненту земних надр. Одним із незвичайних властивостей СЕМЕЗ є можливість його проходження через добре провідну товщу морської води, що, згідно класичним уявленням, для даного діапазону частот представляється неможливим.

Автори підкреслюють важливість подальшого дослідження та накопичення даних про СЕМЕЗ на акваторіях, так як вони дають інформацію для рішення ряду практичних завдань з вивчення будови земної кори на акваторіях, пошуку корисних копалин, в тому числі, можливо, скоплень газогідратів.

У статті описуються експериментальні спостереження, які проводилися на 6 профілях (2 субмеридіональних і 4 субширотних) в північно-західній частині Чорного моря. Детально розглядаються особливості випромінювання СЕМЕЗ з невеликих глибин, на яких утворюються скупчення газогідратів.

Автори статті приходять до висновку, що, незважаючи на значні перешкоди, вихідні дані та результати інтерпретації, отримані в ході експериментальних спостережень, вказують на присутність у зареєстрованому сигналі інформації про будову земних надр.

Ключевые слова: литосфера, полезные ископаемые, газогидраты, интерпретация.

*The authors of the article believe that the major initial principles, on which the theory of spontaneous electromagnetic emission of the lithosphere should be based, are nonequilibrium, nonlinearity, instability of geomedium structure. The authors show that SEEE should be considered as part of a complex nonlinear phenomenon – seismic acoustic-electromagnetic lithosphere noise having diffusion nature and formed by seepage of fluids through a solid-state component of the earth interior. One of the unusual SEEE features is the ability to pass through the well conductive thickness of the sea water that, according to the classical ideas, is impossible for a given frequency range.*

*The authors emphasize the importance of further accumulation of data about SEEE in water areas because it provides information for solving some practical problems on the study of crustal structure in the water areas, for exploration of minerals, including possible accumulations of gas-hydrates.*

*The article describes the experimental observations which were conducted on six profiles (2 submeridional and 4 sublatitudinal) in the northwestern part of the Black Sea. The particularities of SEEE radiation from shallow depths, where the accumulation of gas hydrates are forming, were considered in the article.*

*The authors conclude that, despite significant noise, the output data and interpretation results, obtained in the course of the experimental studies, indicate presence of the information about the structure of the subsurface in the registered signal.*

Keywords: lithosphere, minerals, gas hydrates, interpretation.

**Вступ.** В останні роки спостерігається помітний прогрес у дослідженні спонтанної (за класифікацією В.Т. Левшенка [1]) електромагнітної емісії Землі, що генерується в широкому діапазоні частот (СЕМЕЗ). Як свідчить виконаний обширний натурний експеримент, СЕМЕЗ, на відміну від інших випромінювань в кілогерцовому діапазоні, має цілу низку специфічних властивостей [2–8]. Для їх пояснення необхідно не обмежуватися звичною моделлю земної кори у вигляді пасивного континууму, в якій приймається, що це пористе вологонасичене середовище, яке має магнітну структуру і перебуває в підмагнічуючому полі земного ядра.

Для пояснення знову встановлених властивостей випромінювання потрібне використання іншої електродинамічної моделі геосередовища у вигляді активної дисипативної структури [4, 5]. Нерівноважність, нелінійність, нестійкість структури геосередовища – основні вихідні принципи, на яких, на нашу думку, повинна будуватися теорія спонтанної електромагнітної емісії літосфери. Показано, що СЕМЕЗ слід розглядати як частину складного нелінійного явища – сейсмо-акустоелектромагнітного шуму літосфери, що має дифузійну природу і утворюється при просочуванні флюїдів через твердотільну компоненту земних надр. З фронтом концентрації флюїду пов'язане формування «хвиль» комплексної діелектричної проникності, процес розсіювання якої веде до утворення електромагнітних та інших «хвиль» (збурень).

**Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень, публікацій.** Одною з незвичайних властивостей СЕМЕЗ є можливість його проходження через добре провідну товщу морської води, що, згідно класичних уявлень, для даного діапазону частот представляється неможливим. Раніше були запропоновані можливі механізми цього явища [6, 9].

Як відомо, при падінні електромагнітної хвилі на межу розділу провідного і непровідного середовища, що знаходяться в зовнішньому магнітному полі, поряд з відбитою і заломленою електромагнітними хвилями, утворюються також звукові хвилі які розходяться від поверхні розділу [10, 11, 12, 13]. Відповідно, при падінні звукової хвилі утворюються електромагнітні хвилі, які розходяться від цієї межі. Така

взаємна конверсія хвиль різних типів одна у одну становить інтерес у зв'язку з дослідженнями магніто-акустичних ефектів у металах, морському середовищі, а також для генерації звуку безпосередньо в провідному середовищі.

Суть електромагнітно-акустичного перетворення у тому, що в середовищі, яке не володіє ні п'єзоелектричними, ні магнітострікційними властивостями під дією електромагнітної хвилі збуджуються ультразвукові хвилі тієї ж частоти (лінійний відгук) і на кратних частотах (нелінійний відгук). При цьому принципове значення має наявність межі розділу, як місця зосередження збуджуючої сили [13].

Таким чином, досягнувши морського дна, сейсмо-акустоелектромагнітне збурення на цій межі зазнає істотної трансформації. У квазістаціонарному наближенні його електрична компонента у відносно тонкому придонному шарі буде практично повністю скомпенсована за рахунок досить рухливих іонів морського середовища. Що стосується магнітної складової, то вона поширюється в морському середовищі шляхом дифузійного просочування у відповідності з рівнянням дифузії зі швидкістю порядку сотень метрів в секунду. При цьому спостерігається своєрідний ефект «заморожування» магнітного поля, викликаний тим, що електропровідність морської води (порядку 4 См/м) приблизно на два-три порядки перевищує електропровідність порід підстильної літосфери. Розрахунки виявляють «успадкування» дифузійним магнітним полем просторової структури сейсмоакустичної складової збурення (просторової сейсмо-акустомодуляції електромагнітної складової) [14].

Вочевидь, ефект «заморожування» магнітної компоненти зв'язаного сейсмо-акустоелектромагнітного збурення міг би істотно послабити або повністю виключити появу значимого (експериментально виявленого) електромагнітного сигналу на верхній межі «морське середовище – атмосфера» в аналізованому нами кілогерцовому діапазоні, якби магнітне поле взаємодіяло з товщею морської води самостійно. Але у зв'язаному сейсмо-акустоелектромагнітному збуренні літосферного походження присутня ще і його сейсмо-акустична компонента. Вона без істотного загасання поширюється в морському середовищі. У результаті над зоною



**Рисунок 1 – Акваторія проведення експериментальних спостережень. Стрілками зображено напрямок руху судна. Лініями виділено оброблені профілі**

первісного сейсмо-акустогідродинамічного контакту виникає область переважно вертикального руху морської води і за наявності підмагнічуваного магнітного поля  $H_0$  (магнітного поля земного ядра) можлива поява специфічних магнітогідродинамічних ефектів. Зокрема, при потраплянні цього сейсмоакустичного збурення (хвилі) знизу на межу розділу «морське середовище – атмосфера» виникають не тільки відбиті та заломлені сейсмоакустичні хвилі, а й затухаючі електромагнітні хвилі у морському середовищі та електромагнітна хвиля над її поверхнею (в атмосфері) [15]. Відсутність нелінійних процесів у цій схемі трансформацій частоти потрапляючого в атмосферу електромагнітного поля мають порядок частоти вихідного сейсмоакустичного сигналу. Далі, враховуючи характер сейсмоакустичних збурень у морському середовищі, стохастичний характер хвиль і форми водної поверхні, можна припускати, що електромагнітне випромінювання розглянутого частотного діапазону буде некогерентним.

Згідно з оцінками, виконаними у роботі [14], рівень магнітного сигналу на поверхні моря і в атмосфері складатиме близько сотні пікетесли. Це цілком вимірний сигнал, хоча його реєстрація повинна виконуватися на фоні інтенсивних перешкод атмосферно-магнітосферного та індустріального походжень.

**Висвітлення невивішених раніше частин загальної проблеми.** Різноманіття джерел електромагнітних збурень поблизу межі «земля-повітря», складності математичного опису нелінійних процесів генерації та розповсю-

дження електромагнітних сигналів літосферного походження породжує певний скептицизм у сприйнятті нових ідей, а іноді й повне заперечення наявності сигналів з властивостями, які не можуть бути пояснені в рамках класичної електродинаміки. Виходячи з цього, видається важливим подальше накопичення даних про СЕМЕЗ на акваторіях. Дані дослідження тим більш актуальні, що дають інформацію для вирішення ряду практичних завдань з вивчення будови земної кори на акваторіях, пошуку корисних копалин, у тому числі, можливо, скупчень газогідратів.

Нижче представлені перші результати обробки реєстрацій СЕМЕЗ, виконані на НДС «Посейдон» в грудні 2011 р. під час проведення міжнародної експедиції.

Експериментальні спостереження. Виміри проводилися в північно-західній частині Чорного моря (рис. 1). Виконано 6 профілів: 2 субмеридіональних і 4 субширотних. Нижче представлений попередній аналіз даних двох профілів – субмеридіонального (поперечний) № 1809-2 і субширотного (повздовжній) № 1709-2.

Виміри проводилися приладом «Астрогон» (ТУ У 33.2–34476090–001: 2009) виробництва ТОВ "Південьнафтогазгеологія". При реєстрації імпульсного електромагнітного випромінювання в діапазоні частот 2,5-50 кГц (за рівнем 3 Б) фіксувалася інтегральна інтенсивність потоку імпульсів. Динамічний діапазон вимірювань параметрів геомагнітних флуктуацій становить 0,055-15 нТл [Богданов та ін, 2009 б], інтервал виміру – 1 с.

Попередньо було проведено проріджування даних до інтервалу 5 с, що відповідає відстані між точками вимірювань 12-15 м. Для інтерпретації підготовлено два види матеріалів: 1) положення локальних випромінювачів в координатах відстань за профілем – глибина, розраховане за вейвлет-перетвореним сигналом з урахуванням даних по каналах X і Y приладу «Астрогон»; 2) положення локальних випромінювачів в координатах відстань за профілем – глибина, розрахованих по вихідному сигналу з урахуванням даних по каналу X приладу «Астрогон». У першому випадку очікувана інтенсивність випромінювання визначається за типом виділеної аномалії, у другому – розраховується за амплітудою аномалії на вихідному записі.

Попередній аналіз даних на вказаних профілях виконаний без використання геологічної інформації про будову території, за винятком обліку найбільш загальних регіональних особливостей будови шельфу і перехідної зони західної частини Чорного моря.

Результати вимірювань та їх геолого-геофізична інтерпретація. Спільним для всіх реєстрацій є число імпульсів по каналу X в інтервалі 90-150, по каналу Y – в інтервалі 1000-2000. Таке співвідношення представляється неприродним (зазвичай, значення по каналу X дещо більше, ніж по каналу Y), що можна пояснити, перш за все, істотним впливом на показання приладу встановленого обладнання на судні, причому викривлення по каналу Y більш суттєві, ніж по каналу X. Проте, є достатні підстави вважати, що у вихідному сигналі присутня і літосферна складова. Зокрема, локальний максимум по каналу X на 35-40 км профіля № 709-2 добре узгоджується з положенням структури Британська. Аналогічно, локальний максимум поблизу 10 км профіля № 809-2 відповідає структурі Каламітської.

Будову акваторії досліджено на глибину до 10 км по поперечному профілю № 809-2 і до 45 км (у центральній частині) – по повздовжньому профілю № 709-2. На рисунках 2 і 3, як приклад, показано геофізичні розрізи і один з видів «тіньових» розрізів (підготовлених з використанням вейвлет-розкладок). Для наочності на рис. 4 праворуч від розрізу і на рис. 5 безпосередньо на розрізі (у районі структури Британська) зображено приклади зміни інтенсивності випромінювання з глибиною в більш звичному графічному вигляді. При побудові розрізу, крім зазначеної «підкладки», використані всі наявні матеріали.

Незважаючи на значні перешкоди, які викривляють розподіл числа випромінювачів в розрізі, всі оброблені дані вказують на те, що досліджувана територія має складчасту будову. Найбільш виразним проявом такого типу геологічної будови є різке (в кілька разів) зменшення числа випромінювачів при переході від піднесеного до зануреного блоку, при цьому напрямок падіння розлому – у бік піднесеного блоку.

Загалом, шари в межах кожного блоку занурюються на північ (поперечний профіль) і

захід (повздовжній профіль). Виділена на розрізах можлива товща крейдових відкладів є спробою продовжити вздовж поперечного розрізу, а потім вздовж повздовжнього розрізу дані буріння свердловини Іллічівська-1, що розкрила крейдові відклади в інтервалі глибин приблизно 900-2400 м [16]. Положення свердловини приблизно припадає на початок поперечного профілю; визначити більш точно положення, зважаючи на відсутність координат не було можливості. Раніше подібна процедура простеження горизонтів застосовувалася для простеження крейдових та інших відкладів у межах досліджуваної частини Прикерченського шельфу за даними буріння свердловин на структурі Субботіна. Там цій товщі відповідає помітний стрибок випромінювання і візуально очевидні особливості в розподілі інтенсивності випромінювання.

На жаль, у даному випадку матеріали для інтерпретації менш якісні, тому виділити однорідні товщі вкрай складно, так що виділені горизонти є орієнтовними: не можна виключити, що глибина залягання зазначеної товщі в деяких блоках інша.

Найбільш імовірною причиною утворення складок може бути підсування субокеанічної плити з півдня на північ під крайову, сильно перероблену частину Східно-Європейської платформи (Скіфська плита). Наведена на розрізах зона підсування, вочевидь, являє собою її верхню частину.

За профілем № 709-2, кордон Мохоровичича проходить на глибині не менше 32 км (36 км поблизу структури Британська – рис. 6) із зануренням на схід, можливо, за наявності локального виступу поблизу 60-70 км профілю. Напрямок падіння горизонтів на великій глибині протилежний напрямку у верхній частині розрізу; зміна напрямку падіння відбувається на глибині близько 20 км. Глибині 23-30 км, як і за даними для регіонального профілю DOBRE, відповідає локальне збільшення щільності потоку випромінювання.

Враховуючи, що скупчення газогідратів утворюються на невеликій глибині від морського дна, розглянемо більш детально особливості випромінювання СЕМЕЗ для цих глибин. Найчастішою особливістю зміни щільності потоку з глибиною є його збільшення в придонній області з наступним швидким зниженням при переході до товщі води (рис. 7 а). В інших випадках спостерігається зниження інтенсивності потоку вже в придонному шарі (рис. 7 б); зрідка відбувається «розщеплення» придонного максимуму випромінювання. На даний момент найбільше число відхилень зміни інтенсивності потоку з глибиною від типового встановлено на 70-90 км профілю № 709-2 (східна частина профілю). Не виключено, що, принаймні частина таких відхилень може бути пов'язана з зонами формування газогідратів. Для вирішення цього питання необхідно мати інформацію про наявність газогідратів хоча б вздовж частини профілів для проведення відповідних порівнянь.



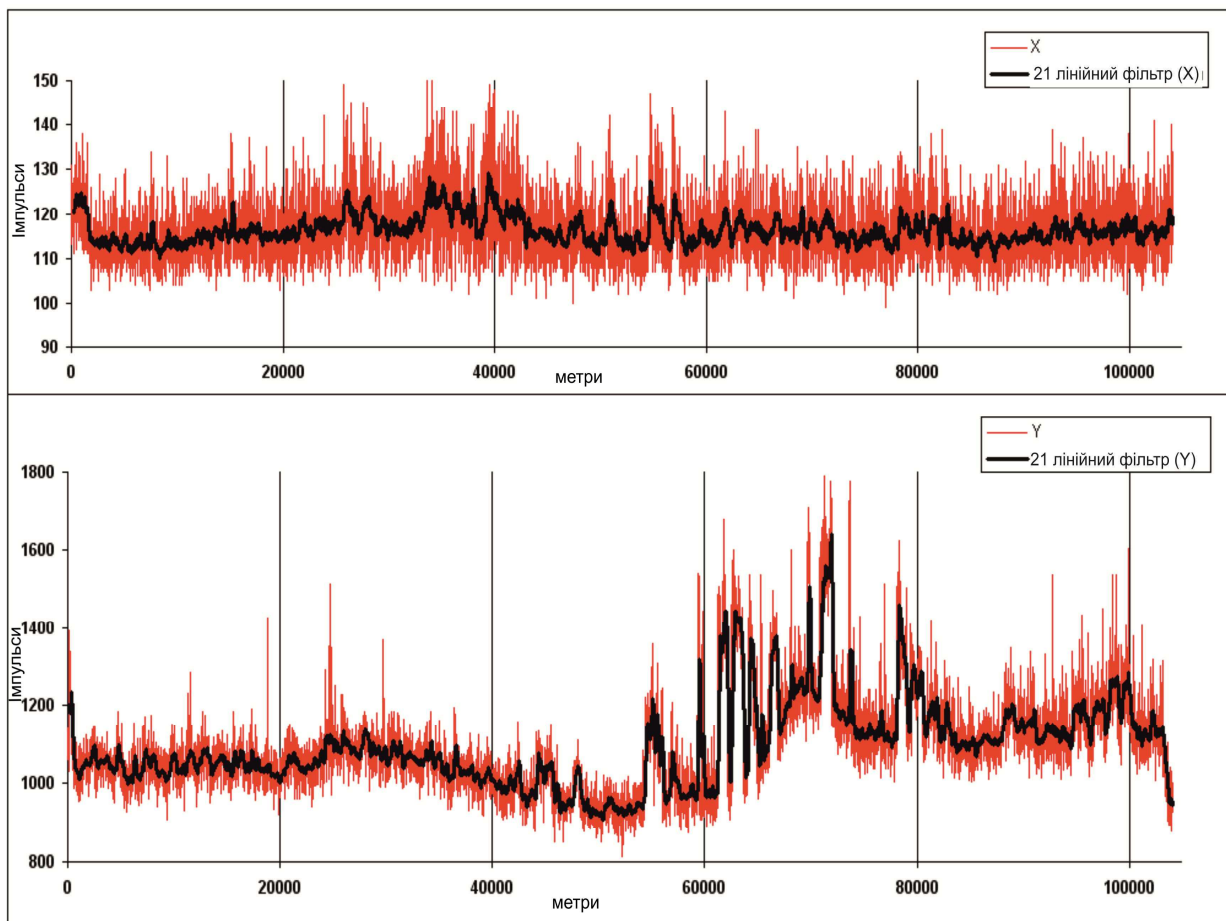


Рисунок 2 – Зміни числа імпульсів по каналах X і Y за профілем № 709-2

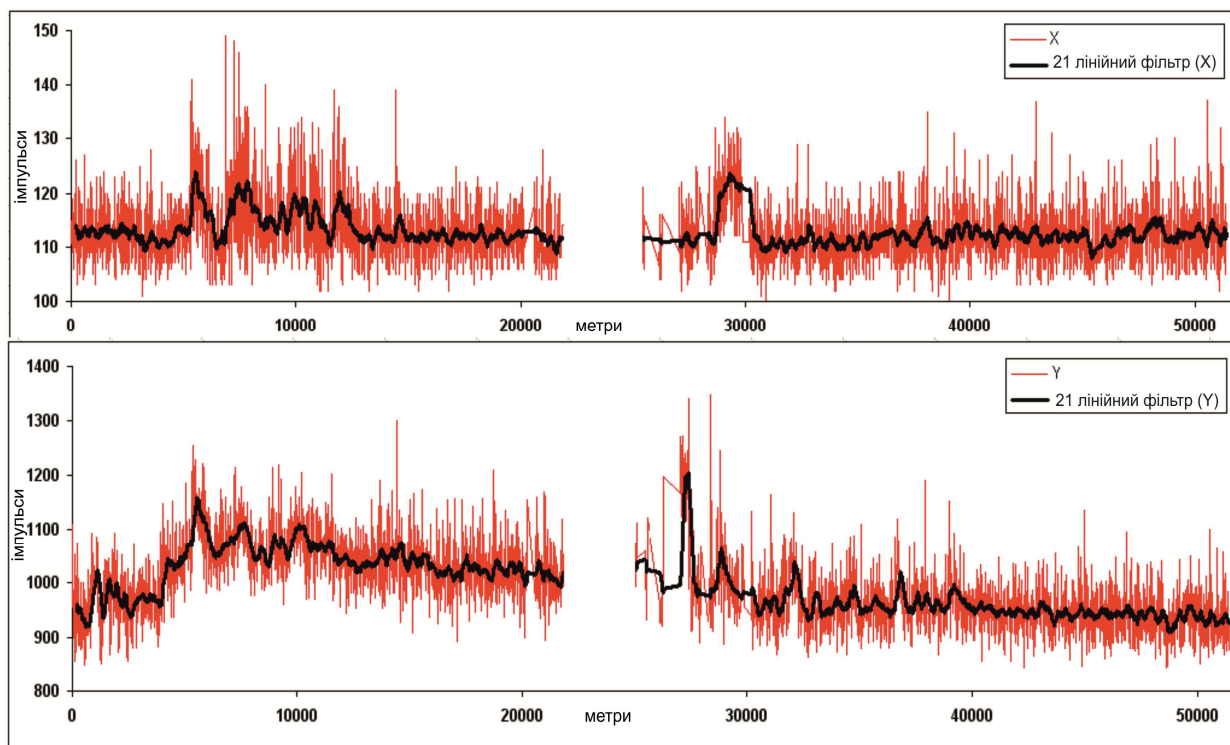
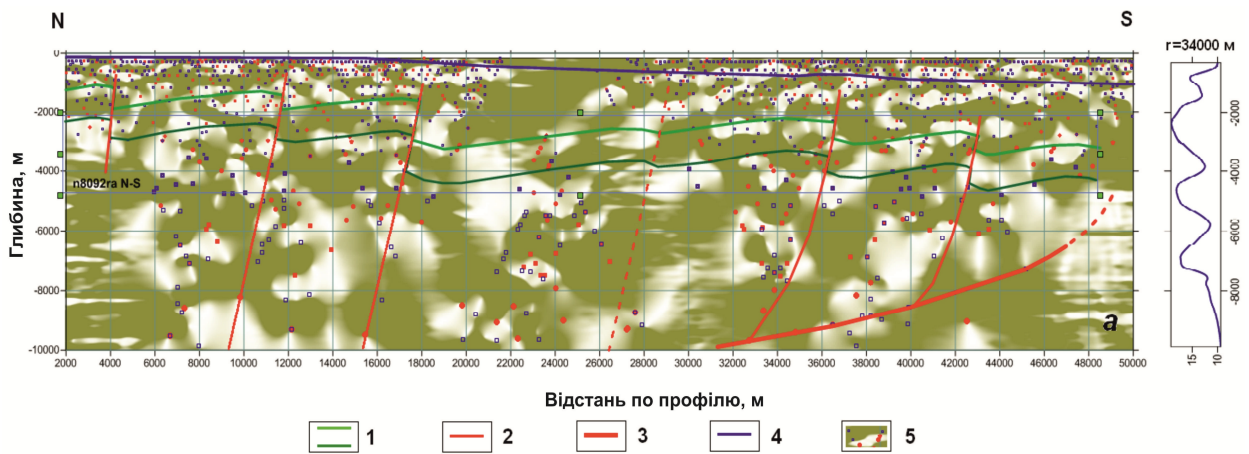
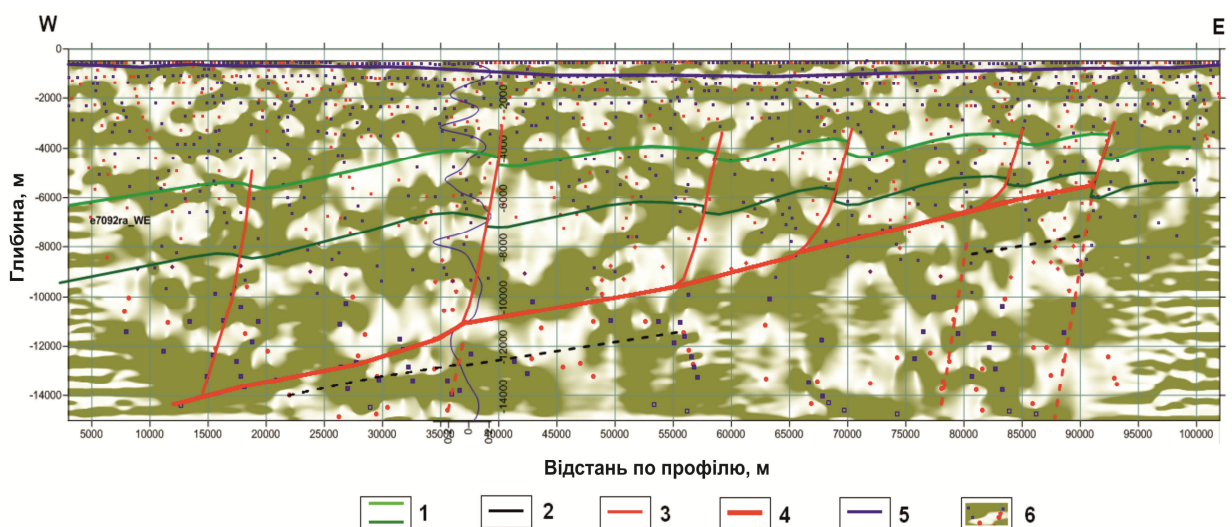


Рисунок 3 – Зміни числа імпульсів по каналах X і Y за профілем 809-2



1 – очікувані покрівля і підшова крейдяних відкладень; 2 – розломи; 3 – очікувана зона підсовування; 4 – морське дно; 5 – тіньовий розріз із зазначенням положення локальних випромінювачів

Рисунок 4 – Геофізичний розріз по лінії профілю № 809-2



1 – очікувані покрівля і підшова крейдяних відкладень; 2 – інші горизонти; 3 – розломи; 4 – очікувана зона підсовування; 5 – морське дно; 6 – тіньовий розріз із зазначенням положення локальних випромінювачів

Рисунок 5 – Геофізичний розріз по лінії профілю № 709-2

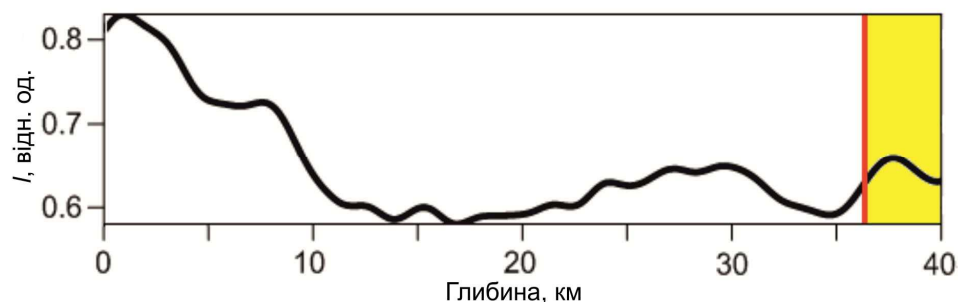
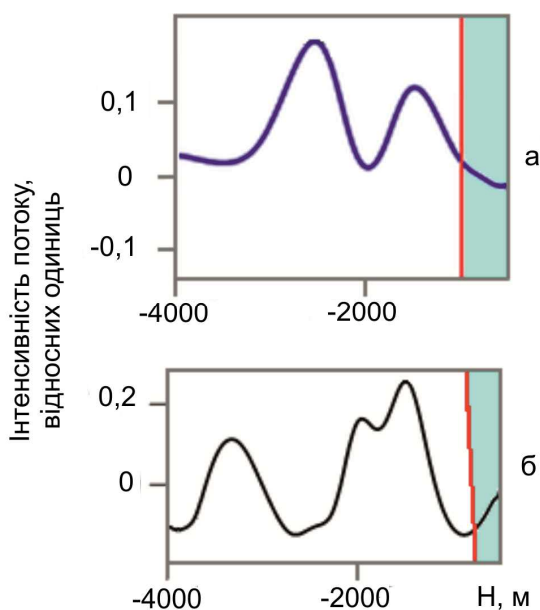


Рисунок 6 – Зміна щільності потоку випромінювання з глибиною поблизу структури Британська

### Висновок

Незважаючи на значні перешкоди, вихідні дані та результати інтерпретації вказують на присутність у зареєстрованому сигналі інформації про будову земних надр. Однак, проводити інтерпретацію за наявності таких перешкод

без апріорної інформації вкрай складно. Основна складність полягає в тому, що практично повністю стираються особливості, за якими поділяються сигнали від, власне, геологічних об'єктів (меж) і зон напруження. Особливо складно правильно визначити напрям падіння геологічних горизонтів, оскільки характерні для



*a* – типове випромінювання;  
*б* – нетипове випромінювання

**Рисунок 7 – Випромінювання в придонному шарі**

них легко похилі зони напружень мають протилежний нахил. Надійність інтерпретації може бути підвищена за рахунок використання апріорної інформації, в тому числі таку, яка охоплює невелику частину досліджуваної території. Надалі представляється доцільним знайти спосіб зниження рівня перешкод при проведенні морської зйомки.

### Література

1 Левшенко В.Т. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы литосферного происхождения: Автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. – Москва: ОНФЗ РАН, 1995. – 36 с.

2 Богданов Ю.А. Спонтанная электромагнитная эмиссия литосферы: состояние проблемы и математические модели / Ю.А. Богданов, В.Н. Павлович, В.Н. Шуман / Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 20-33.

3 Аппаратурно-методическое обеспечение метода анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли / Ю.А. Богданов, Н.В. Бондаренко, И.Г. Захаров, Н.П. Лойко, В.В. Лукин, А.М. Черняков, О.Р. Чертов / Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 34-43.

4 Шуман В.Н. Электродинамика геосреды и методы геоэлектрики / В.Н. Шуман / Геофизический журнал. – 2010. – Т. 32, № 2. – С. 28-42.

5 Шуман В.Н. Концепция динамически неустойчивой геосреды и сейсмоэлектромагнитный шум литосферы / В.Н. Шуман / Геофизический журнал. – 2010. – Т. 32, № 6. – С. 101-118.

6 Спонтанное электромагнитное излучение на акваториях: новый эксперимент и приложения / В.Н. Шуман, В.П. Коболев, Ю.А. Богда-

нов, И.Г. Захаров, Д.А. Яцюта / Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33, № 4. – С. 33-49.

7 Шуман В.Н. Электродинамика фрактальных сред, переходное фрактальное рассеяние и электромагнитный шум литосферы / В.Н. Шуман / Геофизический журнал. – 2012. – Т. 34, № 1. – С. 3-13.

8 Модель глубинного строения Донецкого складчатого сооружения и прилегающих структур по данным региональных геофизических наблюдений / В.И. Старостенко, А.Е. Лукин, В.П. Коболев и др. / Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 44-68.

9 Шуман В.Н. Геосреда и сейсмический процесс: проблемы управления / В.Н. Шуман / Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33, № 2. – С. 16-27.

10 Конторович В.М. Преобразование звуковых и электромагнитных волн на границе проводника в магнитном поле / В.М. Конторович, А.М. Глуцук // Журнал эксперимент. и теоретич. физики. – 1961. – Т. 41, вып. 4(10). – С. 1195-1204.

11 Кравченко В.Я. Электромагнитное возбуждение звука в металлической пластине / В.Я. Кравченко // Журнал эксперимент. и теоретич. физики. – 1968. – Т. 54, вып. 5. – С. 1494-1509.

12 Васильев А.Н. Электромагнитное возбуждение звука в металлах / А.Н. Васильев, Ю.П. Гайдуков // Успехи физических наук. – 1983. – Т. 141, вып. 3. – С. 431-467.

13 Каганов М.И. Электромагнитно-акустическое преобразование — результат действия поверхностной силы / М.И. Каганов, А.Н. Васильев // Успехи физических наук. – 1993. – Т. 163, № 10. – С. 67-80.

14 Ершов С., Михайловская И., Новик О. Сейсмо-электромагнитные сигналы над Океаном: от верхней мантии до ионосферы (физика, математическая модель, численное исследование) <http://www.iki.ru/galeev/abs-rus/a021003>

15 Конторович В.М. О магнитогидродинамических эффектах в океане / В.М. Конторович // Доклады АН СССР. – 1961. – Т. 137, № 3. – С. 576-579.

16 Нафтоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків вуглеводнів у північно-західному шельфі Чорного моря. Гожик П.Ф., Чебаненко І.І., Євдошук М.І., та ін. – Київ-Львів, 2007. – 232 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
17.07.14

Рекомендована до друку  
професором **Федоришиним Д.Д.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. геол.-мінерал. наук **Децицею С.А.**  
(Карпатське відділення Інституту геофізики  
ім. С.І.Субботіна НАН України, м. Львів)