

УДК 550.837:551.24(477)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.95.04>

Т. Бурахович, д-р геол. наук,

E-mail: burahovich@ukr.net;

А. Кушнір, д-р геол. наук,

E-mail: anton@ukr.net;

В. Ільєнко, канд. геол. наук,

E-mail: ivageophysicist@gmail.com;Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України,
просп. Академіка Палладіна 32, м. Київ, 03680, Україна

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ 3D ГЕОЕЛЕКТРИЧНОЇ МОДЕЛІ НАДР СТЕПОВОГО КРИМУ. ЄВПАТОРІЙСЬКИЙ ТА САКСЬКИЙ ПРОФІЛІ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук О.І. Меньшовим)

Виконано інтерпретацію частини глибинної тривимірної геоелектричної моделі Кримського регіону в межах Сакського та Євпаторійського профілів, на основі даних експериментальних спостережень низькочастотного електромагнітного поля Землі, проведених у 2012 р. Інститутом геофізики ім. С.І. Суботіна Національної академії наук України.

Основним результатом аналізу є виявлення вертикальної та горизонтальної перемешованості областей високого та низького питомого опору як у земній корі, так і у верхній мантії. Показано, що геоелектричні розрізи за всіма профільними зрізами моделі характеризуються зануренням у північному напрямку поверхні консолідованого фундаменту та відповідно збільшенням сумарної повсюдньої провідності приповерхневих шарів. Виявлено аномалію електропровідності в консолідованій земній корі в інтервалі глибин 5–10 км з питомим електричним опором (ρ) 5 Ом·м, що гальванічно пов'язана з осадовими відкладами. Глибше за 10 км перемешуються однорідні та неоднорідні за питомим опором шари: 10–60 км з $\rho = 1000$ Ом·м; 60–90 км з $\rho = 100$ та 1000 Ом·м; 90–110 км з $\rho = 1000$ Ом·м; 110–140 км з $\rho = 40$ та 1000 Ом·м, контакти відповідають різним ρ нормальних геоелектричних розрізів різновікових структур Скіфської плити та Східноєвропейської платформи; горизонтально-шаруватий нормальний розріз.

Проаналізовано, що осередки землетрусів сейсмічного району Степового Криму концентруються в геоелектрично-неоднорідних зонах та тяжіють до контактів аномалій електропровідності в консолідованих породах земної кори – вище верхньої кромки аномалій, за межами та поміж аномаліями електропровідності. Розглянутий матеріал повністю свідчить про приуроченість проявів вуглеводнів до виділених за даними геоелектромагнітного зондування та тривимірного моделювання аномалій високої електропровідності, які характеризуються субвертикальними каналами, що гальванічно пов'язані з осадовими відкладами, та розшарованістю в земній корі й верхній мантії. Геоелектричні неоднорідності, які відображають сучасний стан земної кори й верхньої мантії та, ймовірно, зумовлені впливом сучасних мантіїних флюїдів, відповідають проявам сейсмічності та нафтогазоносності.

Ключові слова: геоелектромагнітні методи, інтерпретація тривимірної моделі, аномалії електропровідності, сейсмічність.

Вступ. Останнім етапом побудови геоелектричної моделі Криму можна вважати її інтерпретацію з метою отримання фізико-геологічного тлумачення для застосування у таких важливих областях, як вивчення перспектив нафтогазоносності та сейсмічної небезпеки регіону.

На думку дослідників (Порфирьев и др., 1981; Лукин, 2014; Шеремет и др., 2016) утворення нафти і газу в Причорноморсько-Кримській нафтогазоносній провінції пов'язане з процесами, що відбуваються у верхній мантії Землі, звідки вони мігрували в осадову товщу і її фундамент по зонах глибинних розломів у третинно-четвертинний час. Так аналіз геолого-геофізичних і геохімічних даних по різних нафтогазоносних басейнах світу, проведений в роботі (Лукин, 2015), свідчить про те, що головним фактором формування нафтових і газових родовищ є глибинна дегазація Землі. Вона створює тектоно-геодинамічні передумови формування інтенсивно розущільнених зон, особливо у крайових частинах кратонів. Є підстави прогнозувати пов'язані з ними родовища на півдні України (Лукин, 2003).

Одним з яскравих проявів геодинамічних процесів Землі є сейсмічність. Роботи останніх десятиліть, присвячені проблемам сейсмічності, все частіше стосуються питань дегазації Землі, зумовленої проявом надглибинних і глибинних флюїдних процесів у корі і мантії Землі (Гуфельд, 2007, 2013; Шестопалов и др., 2018; Кузин, 2018; Летников, 2003).

Добре відомо, що сейсмічність того чи іншого регіону пов'язана з його тектонічними і геодинамічними особливостями. Район досліджень має складну геолого-тектонічну будову, займає проміжне і не до кінця визначене положення в зоні зчленування глобальних структурних

елементів – південно-західного кута Східноєвропейської платформи і субширотних структур Альпійсько-Гімалайського поясу.

Сейсмічний район Степового Криму відрізняється великою кількістю материкових землетрусів з M 2–3,5, вогнища яких залягають на глибинах від 5 до 25 км. У роботі (Пустовитенко и др., 2019) аналізується помітне поживлення сейсмічної діяльності у Степовому Криму 2010–2012 рр. і розрахована глибина вогнища 5–7 км, що характерна для цього району. У той же час за результатами багаторічних досліджень встановлено, що вогнища землетрусів Криму розташовуються в основному в земній корі і максимальні значення їх глибин не перевищують 60 км (Кульчицкий и др., 2017).

Мета даного дослідження полягає в інтерпретації тривимірної моделі розподілу електричного опору земної кори і верхньої мантії Кримського регіону (Кушнір та Бурахович, 2021), яка побудована за сучасними експериментальними спостереженнями магнітотелуричного зондування і магнітоваріаційного профілювання (Бурахович и др., 2016). Методика 3D моделювання, що проводилась із застосуванням програмного забезпечення Mtd3wd (Mackie et al., 1994), та розрахунки детально описані в (Кушнір, 2019), а загальний аналіз геоелектричної моделі Кримсько-Чорноморського регіону з фізико-геологічною інтерпретацією вздовж профілів Краснополяський, Джанкойський та Феодосія-Керч розглянуто у (Кушнір та Бурахович, 2021). У даному дослідженні виконано подальшу інтерпретацію геоелектричної моделі з деталізацією району Степового Криму вздовж двох профілів: Євпаторійського та Сакського.

Аналіз геоелектрично-неоднорідних зон. Розглянемо частину тривимірної моделі Кримського регіону за серією з 6 глибинних розрізів субмеридіональних профілів (пр. 24–29; пр. 25 та пр. 28 відповідають Євпаторійському та Сакському профілям експериментальних спостережень) з кроком між ними 10 км, довжиною 80 км (рис. 1). Майже всі профілі перетинають різні геологічні структури Степового Криму: Альтинську западину (Азп), Калинівський грабен (Кг), Новоселівське підняття (Нп), Донузлавський грабен (Дг), Тарханкутський вал (Тв) та Каркінітсько-Північнокримський прогин (КПНКпр). Кожна структурна одиниця характеризується сумарною

повздовжньою провідністю приповерхневих шарів (S_{oc}) (від 250–500 См для Азп до 1000–1500 См для КПНКпр) та глибиною поверхні консолідованого фундаменту (від 1 км для Азп, Кг, Нп до 3,5–5 км на південному сході КПНКпр). Відповідно до цих параметрів розподіл питомого електричного опору (ρ) осадових відкладів коливається від 2 до 5 Ом·м на фоні $\rho = 1000$ Ом·м консолідованої земної кори. Як правило, геоелектричні розрізи за всіма профілями характеризуються зануренням на північ поверхні консолідованого фундаменту та відповідно збільшенням S_{oc} .

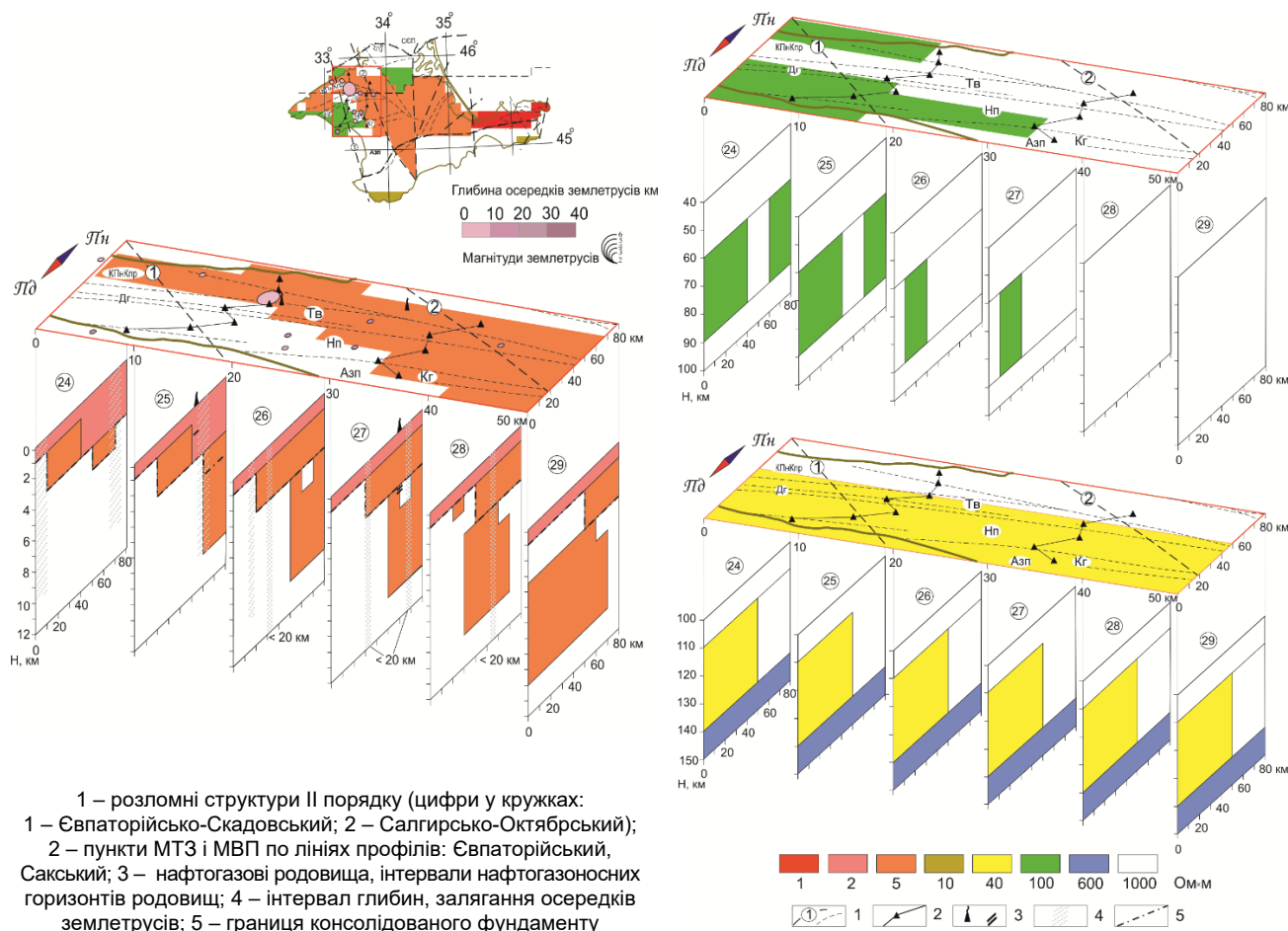


Рис. 1. Вертикальні розрізи 3D моделі розподілу питомого опору Кримського регіону вздовж пр. Євпаторійський і Сакський

Під максимальним зануренням фундаменту до 5 км (ПК 50–70 км), що проявився на границі Тв та півдня КПНКпр геоелектричного розрізу вздовж пр. 24, виявлено аномалію електропровідності завширшки 20 км в інтервалі глибин 5–10 км з $\rho = 5$ Ом·м. Тобто аномалія гальванічно пов'язана з осадовими відкладами.

Глибше потужністю близько 50 км розташований однорідний шар з питомим опором $\rho = 1000$ Ом·м ("нормальний опір"). Нижче за нього, починаючи з глибин 60 км, у верхній мантії за результатами моделювання виділено декілька перемежованих неоднорідних шарів. Перший – 60–90 км, характеризується послідовністю зон низького питомого опору ($\rho = 100$ Ом·м) на фоні нормального опору. Південна зона (ПК 0–40 км) територіально приурочена до півночі Азп та обмежується Дг. Північна зона (ПК 60–80 км) – розташована в межах КПНКпр, її осьова

частина відповідає північній границі аномалії в земній корі. Другий шар (110–140 км) виділяється контактом питомих опорів $\rho = 40$ та 1000 Ом·м, який просторово розташований поміж аномальними зонами першого неоднорідного шару у верхній мантії та південній границі аномалії в земній корі.

Прояви сейсмічності в геоелектрично-неоднорідних зонах вздовж пр. 24 спостерігаються на ПК 0–10 км та 65–75 км. Саме для цих ділянок характерна розшарованість у земній корі та верхній мантії. Так ПК 0–10 км характеризуються сходинкоподібним зануренням глибини фундаменту амплітудою 2,5 км, контактом осадових відкладів ($\rho = 5$ Ом·м) та консолідованої товщі ($\rho = 1000$ Ом·м), а у верхній мантії – вертикальною перемежованістю провідників. На ПК 65–75 км проявляється підняття фундаменту амплітудою 1,5 км, контактом за $\rho = 5/1000$ Ом·м

в інтервалі глибин 3,5–10 км (за рахунок аномалії електропровідності в земній корі) та локальної неоднорідності у верхній мантії.

Південна частина аномалії електропровідності в консолідованій земній корі, що гальванічно пов'язана з осадовими відкладами, проявилася на ПК > 60 км (південь КПНКпр) геоелектричного розрізу вздовж пр. 25: інтервал глибин 5–10 км, $\rho=5$ Ом·м. Звернемо увагу, що на пр. 24 та 25 аномалія характеризується складною просторовою структурою: по-перше, звуженням до 20 км у субмеридіональному напрямку (максимальна ширина понад 80 км наявна в районі поміж Салгірсько-Октябрським та Чонгарським розломами); по-друге, різкою зміною напрямку телуричних струмів від південного заходу до північного та від північного до південного сходу (загальний напрямок аномалії – субширотний).

Глибше за 10 км розподіл геоелектричних неоднорідностей аналогічний глибинному розрізу пр. 24. Необхідно підкреслити, що на пр. 25 південна границя аномалії електропровідності в земній корі зміщується на північ на 10 км, унаслідок чого вона збігається з південною границею північної зони у верхній мантії.

Євпаторійсько-Скадовський розлом, який трасується на ПК 0–40 км пр. 25 та на ПК 40–80 км пр. 24, не проявився єдиною аномальною електропровідною структурою. Не зважаючи на складний розподіл ρ вздовж розлому і виявлені на різних рівнях в земній корі та у верхній мантії геоелектричні неоднорідності, просторово аномалії відповідають структурним одиницям більш високого рангу. Але осередки землетрусів, що концентруються вздовж материкової частини Євпаторійсько-Скадовського розлому з різних його сторін на відстані близько 10 км, відповідають тим його ділянкам, де існують границі аномалій електропровідності в земній корі (пр. 24 ПК 0–10 км та 65–75 км, пр. 25 ПК 55–65 км, пр. 26 ПК 20–30 км та 35–45 км).

Отже, прояви сейсмічності вздовж пр. 25 спостерігаються в межах ПК 55–65 км, що знаходяться в геоелектрично-неоднорідних зонах. Вогнища землетрусів тяжіють до південних границь аномалій в земній корі та верхній мантії, тобто до контактних областей питомих опорів 5/1000 Ом·м в інтервалі глибин 5–10 км, 100/1000 Ом·м в інтервалі глибин 60–90 км, та загальним контактам нормальних геоелектричних розрізів СЄП та СП – 1000/40 Ом·м в інтервалі глибин 110–140 км. Згідно з роботою (Пустовитенко *и др.*, 2019) характерна глибина осередків землетрусів сейсмічного району Степового Криму становить 5–7 км та відповідає верхній частині аномалії електропровідності в консолідованій земній корі і встановлений розшаруватості земних надр.

Геоелектричні розрізи вздовж пр. 26 та 27 схожі між собою. Південна границя аномалії електропровідності ($\rho = 5$ Ом·м в інтервалі глибин 3,5–10 км) у консолідованій земній корі мігрує на південь та спостерігається на ПК 50 км пр. 26 та ПК 40 км пр. 27. Аномалія розширюється на схід та має гальванічний зв'язок з електропровідними осадовими товщами ($\rho = 2$ –5 Ом·м). У межах аномалії залишається останець високого опору на глибинах 3,5–5 км із загальними просторовими розмірами 10×40 км.

Глибше за 10 км перемижуються однорідні та неоднорідні за питомим опором шари: 1) однорідний шар в інтервалі глибин 10–60 км з $\rho = 1000$ Ом·м; 2) неоднорідний шар в інтервалі глибин 60–90 км з $\rho = 100$ та 1000 Ом·м, у якому виділена тільки одна ділянка низького опору у верхній частині верхньої мантії, яка

просторово відповідає перехідній поміж Кг та Нп зоні за ширини 20 км; 3) однорідний шар в інтервалі глибин 90–110 км з $\rho = 1000$ Ом·м; 4) неоднорідний шар в інтервалі глибин 110–140 км з наявним у ньому контактом областей питомих опорів 40 та 1000 Ом·м, що відповідає різним ρ нормальних геоелектричних розрізів різновікових структур СП та СЄП; 5) горизонтально-шаруватий нормальний розріз.

Прояви сейсмічності спостерігаються в геоелектрично-неоднорідних зонах вздовж пр. 26 в інтервалах ПК 10–20 км та 30–35 км, а також вздовж пр. 27 в інтервалах ПК 25–35 км та 65–70 км.

Вогнища землетрусів поглиблюються на схід та майже всі тяжіють до консолідованих ділянок в околі контактів різних за питомими опорами ($\rho = 5/1000$ Ом·м) областей, які проявилися як у приповерхневих шарах, так і в неоднорідних за електропровідністю зонах на глибинах 3,5–10 км. Виключенням є землетруси, розташовані в зоні глибинного Салгірсько-Октябрського розлому, який можна вважати західною границею повномасштабної аномалії Кримського регіону в земній корі на глибинах 3,5–10 км. Сама ділянка розлому є неоднорідною та складається з різних за питомими опорами фрагментів. Більшість проявів сейсмічної активності спостережено саме в місцях контактів $\rho = 100/1000$ Ом·м в інтервалі глибин 60–90 км. Отже, цілком обґрунтовано зробити висновок про те, що напружено-деформаційний стан розшарованих земних надр у межах території досліджень значною мірою пов'язаний з її геоелектрично-неоднорідною будовою, установленною за даними тривимірного моделювання.

Зупинимось на аналізі геоелектричних розрізів вздовж пр. 28 та 29. Південна границя аномалії електропровідності ($\rho = 5$ Ом·м в інтервалі глибин 3,5–10 км) у консолідованій земній корі продовжує мігрувати на південь, де спостерігається на ПК 30 пр. 27 та ПК 10 пр. 29. Аномалія також розширюється в східному напрямку, водночас на даній території вона тільки частково (10–20 км при загальній ширині 40–60 км) має гальванічний зв'язок з низькоопорними електропровідними осадовими товщами ($\rho = 5$ Ом·м).

Прояви сейсмічності спостерігаються вздовж пр. 28 на ПК 50–00 км і пр. 29 на ПК 0–10 км. Як і в попередньому випадку, вогнища землетрусів розташовані в зоні глибинного Салгірсько-Октябрського розлому до глибин 20 км. Розлом простежується на південь і в межах Ялтинсько-Алуштинського сейсмічного району розглядається як активна структура, з якою пов'язані найпотужніші ($M = 5$ в акваторії Чорного моря) прояви сейсмічних подій, що сягають глибин понад 40 км.

Як стверджує робота (Доленко *и др.*, 1967), у межах Євпаторійсько-Новоселівського підняття нижньокрейдові відклади, що є найбільш перспективними на вміст у них вуглеводнів на всій території Криму, залягають на невеликих глибинах, що створює несприятливі гідрогеологічні умови для утворення нафти та газу. На території дослідження відомі лише Тетянівське (пр. 27 в районі ПК 55–60) та Серебрянське (пр. 25 в районі ПК 50–55) вуглеводневі родовища, приурочені до Серебрянської депресії КПНКпр. Промислові поклади відповідають двом горизонтам нижньої та верхньої крейди. Як описано у роботі (Кушнір *та Бурахович*, 2021), родовища можуть бути приурочені до локальної ділянки високого опору, розташованої в межах аномалії високої електропровідності.

Отримана за тривимірною моделлю вертикальна перемешованість високого та низького опору може пояснюватися наявністю каналів, гальванічно пов'язаних з осадовими утвореннями, які є можливими шляхами надходження глибинної вуглеводневої речовини. Це підтверджується й присутністю неоднорідних провідників у верхах верхньої мантії, розташованими саме під вертикальними каналами в земній корі. З іншого боку, у місцях, де відсутні геоелектричні неоднорідності на глибинах 60–90 км (пр. 28–29), умови для надходження глибинних флюїдів несприятливі.

Висновки. Виконано інтерпретацію частини глибинної тривимірної геоелектричної моделі Кримського регіону в межах Сакського та Євпаторійського профілів, побудованої за результатами тривимірного математичного моделювання на основі експериментальних спостережень низькочастотного електромагнітного поля Землі, які були проведені у 2012 р. Інститутом геофізики ім. С.І. Суботіна Національної академії наук України.

Основним результатом аналізу є виявлення вертикальної та горизонтальної перемешованості високого та низького опору як у земній корі, так і у верхній мантії, отже, наявності зон контактів за опором та відповідно можливих шляхів проникності для глибинних флюїдів. Аномальні зони проявляються різною електропровідністю і глибиною залягання, конфігурацією і по-різному характеризують геологічні структури.

Можна впевнено стверджувати про різний глибинний розподіл електропровідності в межах таких розломних структур, як Євпаторійсько-Скадовська та Салгирсько-Октябрська. Якщо Салгирсько-Октябрський розлом на всьому простяганні в межах материкової частини проявляється в аномальній електропровідності у верхній частині консолідованої земної кори, то Євпаторійсько-Скадовський тільки фрагментарно, а саме – у межах південної частини Каркінітсько-Північнокримського прогину. Відсутнє єдине уявлення про розподіл опору на мантійних глибинах під цими розломними структурами. Іноді спостерігається повна відсутність будь-яких неоднорідностей; подекуди присутні зони лише контактів або неоднорідностей на одному з глибинних мантійних інтервалів, чи загальна перемешованість опору у верхній мантії.

На незначній за розмірами досліджуваній території (80×60 км) виявлено значну кількість геоелектричних неоднорідностей або їх фрагментів на різних глибинах у верхній мантії. Такий результат підтверджується даними інтерпретації інших геофізичних методів. Зокрема, виявлено субгоризонтальну відбивну межу на глибині ~60 км, що приблизно на 25 км нижче поверхні Мохо по лінії профілю DOBRE-5 (Starostenko et al., 2015). На глибині 80 км зареєстровано аномальне зниження швидкості поширення поздовжніх хвиль уздовж V профілю ГСЗ. Вся досліджувана територія характеризується неоднорідним розподілом та високими значеннями теплових потоків (50–70 мВт/м²) (Кутас, 2010). Найбільші значення відповідають саме місцям поширення аномалій електропровідності у верхній мантії. Параметри співвідношень ізотопів ³He/⁴He свідчать про аномальну активну міграцію глибинних флюїдів (Гордиєнко і Тарасов, 2001). Отже, зіставлення результатів тривимірного моделювання електромагнітних даних з відміченими геофізичними особливостями території досліджень дають підстави для висновку про те, що наявність електричної неоднорідності корових та мантійних високопровідних

шарів і зон контактів є опосередкованими ознаками сприятливих умов для міграції глибинних флюїдів.

З урахуванням регіональних сейсмотектонічних умов виділена Донузлавська сейсмогенеруюча структура з $M_{max} = 4$ (Пустовитенко і Мержа, 2014). Вогнища землетрусів Криму розташовуються переважно в земній корі, де максимальні їх глибини не перевищують 60 км (Кульчицкий і др., 2017). Такі висновки відповідають загальноприйнятим твердженням, що осередки землетрусів концентруються на глибинах вище верхньої кромки аномалій електропровідності, за межами та поміж аномаліями електропровідності в консолідованих породах земної кори. Сучасний стан земної кори й верхньої мантії та, ймовірно, шляхи міграції сучасних мантійних флюїдів відображаються в геоелектричних неоднорідностях та пов'язаних з ними проявах геодинамічної активності.

Розглянутий матеріал упевнено свідчить про приуроченість проявів вуглеводнів до виділень за даними геоелектромагнітного зондування та тривимірного моделювання аномалій високої електропровідності, які характеризуються наявністю субвертикальних каналів, гальванічно пов'язаних з осадовими відкладами, розшаруватістю в земній корі та верхній мантії, яка може сприяти надходженням надглибоких флюїдів.

Публікація містить результати досліджень за прикладною темою Інституту геофізики НАН України № III-16-20: "Геофізичне дослідження літосфери південного заходу Східноєвропейської платформи та її обрамлення у зв'язку з глибинною дегазацією з метою виявлення шляхів міграції флюїдів" (2020–2022 рр.).

Список використаних джерел

- Бурахович, Т.К., Кушнір, А.М., Николаев, И.Ю., Шеремет, Е. М., Ширков, Б. И. (2016). Результаты экспериментальных электромагнитных исследований Крымского региона. *Геофизический журнал*, 2(38), 57–78.
- Бурахович, Т.К., Кушнір, А.М., Цветкова, Т.О., Шумлянська, Л.О. (2013). Комплексна інтерпретація сейсмотомографічних та геоелектричних моделей для оцінки геодинамічних процесів у літосфері Криму. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*, 13(2), 12–26.
- Гордиенко, В.В., Тарасов, В.Н. (2001). Современная активизация и изотопия гелия территории Украины. Київ: Знання.
- Гуфельд, И.Л. (2007). Сейсмический процесс. Физикохимические аспекты. Королев: ЦНИИМаш.
- Гуфельд, И.Л. (2013). О глубинной дегазации и структуре литосферы и верхней мантии. *Электронный журнал "Глубинная нефть"*, 1(1), 18–44.
- Доленко, Г.Н., Парыляк, А.И., Копач, И.П. (1967). Структурно-тектонические этапы нефтегазоносности Крымской нефтегазоносной провинции. *Республиканский межведомственный сборник "Геология и нефтегазоносность Причерноморской впадины"*. Киев: Наукова Думка, 5–15.
- Кузин, А.М. (2018). Дегазация Земли – от землетрясений до образования месторождений полезных ископаемых флюидного генезиса. *Актуальные проблемы нефти и газа*, 4(23), 1–16.
- Кульчицкий, В.Е., Пустовитенко, Б.Г., Свидлова, В.А. (2017). О глубинах очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона. *Вопросы инженерной сейсмологии*, 44(3), 57–82.
- Кушнір А. М. (2019). Геоелектричні неоднорідності земної кори та верхньої мантії території України. *Автореф. дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.22*. Київ.
- Кушнір, А.М., Бурахович, Т. К. (2021). Геоелектричні неоднорідності Кримського регіону як зони проявів сейсмічності та нафтогазоносності. *Геофизический журнал*, 43(1), у друці.
- Летников, Ф.А. (2003). Сверхглубинные флюидные системы Земли. *Докл. РАН*, 390(5), 673–675.
- Лукин, А.Е. (2003). Изотопно-геохимические индикаторы углекислой и углеводородной дегазации в Азово-Черноморском регионе. *Геологический журнал*, 1, 59–73.
- Лукин, А.Е. (2014). Углеводородный потенциал больших глубин и перспективы его освоения в Украине. *Геофизический журнал*, 4(36), 3–23.
- Лукин, А.Е. (2015). Система "плум – глубокозалегающие сегменты нефтегазоносных бассейнов" – неисчерпаемый источник углеводородов. *Геологический журнал*, 2(315), 7–20.
- Порфирьев, В.Б., Краюшкин, В.А., Ключко, В.П. (1981). Геологические критерии перспектив поиска нефти и газа в гетерогенном фундаменте причерноморско-крымской нефтегазоносной области. *Геологический журнал*, 41(1), 38–47.

Пустовитенко, Б.Г., Свидлова, В.А., Князева, В.С., Бондарь, М.Н. (2019). Крымско-Черноморский регион. Землетрясения Северной Евразии, 22 (2013 г.). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 44-55.

Шеремет, Е. М., Бурахович, Т. К., Николаев, И. Ю., Дудик, А. М., Дудик, К. А., Кушнир, А. Н., Ширков, Б. И., Сетая, Л. Д., Агаркова, Н. Г. (2016). Геоэлектрические и геохимические исследования при прогнозировании углеводородов в Украине. Киев: ЦП "Компринт".

Шестопапов, В.М., Лукин, А.Е., Згонник, В.А., Макаренко, А.Н., Ларин, Н.В., Богуславский, А.С. Очерки дегазации Земли. Киев: БАДАТА-Интек сервис.

Mackie, R.L., Smith, J.T., Madden, T.R. (1994). Three dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: the magnetotelluric example. *Radio Science*, 29, 923-935.

Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Faruliak, L., Czuba, W., Šroda, P., Thybo, H., Artemieva, I., Sosson, M., Volfman, Y., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Omelchenko, V., Gryn, D., Guterch, A., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., Tolkunov, A. (2015). Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the northwestern Black Sea and the Crimean Peninsula. *Geophys. J. Int.*, 201, 406-428.

References

Burakhovych, T.K., Kushnir, A.M., Nikolayev, I.Yu., Sheremet, Ye.M., Shirkov, B.I. (2016). Rezul'taty eksperimental'nykh elektromagnitnykh issledovaniy Krymskogo regiona. *Geofizicheskij zhurnal*, 2(38), 57-78. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i2.2016.107765>. [in Russian]

Burakhovych, T.K., Kushnir, A.M., Tsvetkova, T.O., Shumlyanska, L.O. (2013). Kompleksna interpretacija sejsmotomografičnykh ta gheoelektryčnykh modelej dlja ocinky gheodynamichnykh procesiv u litosferi Krymu. *Naukovi praci UkrNDMI NAN Ukraine*, 13(2), 12-26. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/57239> [in Russian]

Dolenko, G.N., Parylyak, A.I., Kopach, I.P. (1967). Strukturno-tektonicheskie etazhi neftegazonosnosti Krymskoy neftegazonosnoy provintsii. *Respublikanskij mezhdostvennyy sbornik "Geologiya i neftegazonosnost' Prichernomorskoy vpadiny"*. Kyiv: Naukova Dumka, 5-15. [in Russian]

Gordienko, V.V., Tarasov, V.N. (2001). Sovremennaya aktivizatsiya i izotopiya geliya territorii Ukrainy. Kyiv: Znannya. [in Russian]

Gufeld, I.L. (2007). Seismicheskiy protsess. Fizikokhimicheskie aspekty. Korolev: TsNII Mash. [in Russian]

Gufeld, I.L. (2013). O glubinnoy degazatsii i strukture litosfery i verkhney mantii. *Elektronnyy zhurnal "Glubinnaya neft"*, 1(1), 18-44. [in Russian]

Kulchitskiy, V.E., Pustovitenko, B.G., Svidlova, V.A. (2017). O glubinakh ochagov zemletryaseniy Krymsko-Chernomorskogo regiona. *Voprosy inzhenernoy seysmologii*, 44(3), 57-82. DOI: 10.21455/VIS2017.3.4 [in Russian]

Kushnir, A.M. (2019). Gheoelektrychni neodnorodnosti zemnoji kory ta verkhnoji mantiji terytoriji Ukrainy. *Extended abstract of Doctor's thesis (Geol.)*: 04.00.22. Kyiv. [in Ukrainian]

Kushnir, A.M., Burakhovych, T.K. (2021). Gheoelektrychni neodnorodnosti Krymskogho reghionu jak zony projaviv sejsmichnosti ta naftoghazonosnosti. *Geofizicheskij zhurnal*, 43(1), in print. [in Ukrainian]

Kuzin, A.M. (2018). Degazatsiya Zemli – ot zemletryaseniy do obrazovaniya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh flyuidnogo genezis. *Aktual'nye problemy nefti i gaza*, 4(23), 1-16. DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art36 [in Russian]

Letnikov, F.A. (2003). Sverkhglubinnye flyuidnye sistemy Zemli. *Dokl. RAN*, 390(5), 673-675. [in Russian]

Lukin, A.E. (2003). Izotopno-geokhimicheskie indikatory uglekisloy i uglevodorodnoy degazatsii v Azovo-Chernomorskom regione. *Gheologicheskij zhurnal*, 1, 59-73. [in Russian]

Lukin, A.E. (2014). Uglevodorodnyy potentsial bol'shikh glubin i perspektivy ego osvoiniya v Ukraine. *Geofizicheskij zhurnal*, 4(36), 3-23. [in Russian]

Lukin, A.E. (2015). Sistema "plyum – glubokozalegayushchie segmenty neftegazonosnykh basseynov" – neisчерpaemyy istochnik uglevodorodov. *Gheologicheskij zhurnal*, 2(315), 7-20. [in Russian]

Mackie, R.L., Smith, J.T., Madden, T.R. (1994). Three dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: the magnetotelluric example. *Radio Science*, 29, 923-935.

Porfiriev, V.B., Krayushkin, V.A., Klocho, V.P. (1981). Geologicheskie kriterii perspektiv poiska nefti i gaza v geterogennom fundamente prichernomorskoy-krymskoy neftegazonosnoy oblasti. *Geologicheskij zhurnal*, 41(1), 38-47. [in Russian]

Pustovitenko, B.G., Svidlova, V.A., Knyazeva, V.S., Bondar, M.N. (2019). Krymsko-Chernomorskij region. Zemletryaseniya Severnoy Evrazii, 22 (2013 g.). Obninsk: FITS EGS RAN, 44-55. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.03 [in Russian]

Sheremet, E.M., Burakhovych, T.K., Nikolaev, I.Yu., Dudik, A.M., Dudik, K.A., Kushnir, A.N., Shirkov, B.I., Setaya, L.D., Agarkova, N.G. (2016). Gheoelektricheskie i geokhimicheskie issledovaniya pri prognozirovanii uglevodorodov v Ukraine. Kyiv: TsP "Komprint". [in Russian]

Shestoapalov, V.M., Lukin, A.E., Zgonnik, V.A., Makarenko, A.N., Larin, N.V., Boguslavsky, A.S. Ocherki degazatsii Zemli. Kyiv: BADATA-Intek servis. [in Russian]

Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Faruliak, L., Czuba, W., Šroda, P., Thybo, H., Artemieva, I., Sosson, M., Volfman, Y., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Omelchenko, V., Gryn, D., Guterch, A., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., Tolkunov, A. (2015). Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the northwestern Black Sea and the Crimean Peninsula. *Geophys. J. Int.*, 201, 406-428. doi:10.1093/gji/ggv018.

Надійшла до редколегії 17.08.21

T. Burakhovich, Dr. Sci. (Geol.),

E-mail: burahovich@ukr.net;

A. Kushnir, Dr. Sci. (Geol.),

E-mail: antonn@ukr.net;

V. Iliencko, PhD (Geol.),

E-mail: ivageophysicist@gmail.com;

Institute of Geophysics NAS of Ukraine,

32 Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

INTERPRETATION OF THE 3D GEOELECTRICAL MODEL OF THE STEPPE CRIMEA BOWELS. EUPATORIA AND SAKI PROFILES

The interpretation of the segment of the deep three-dimensional Crimean region geoelectrical model within the Saki and Yevpatoria profiles, built on the basis of the Earth's low-frequency electromagnetic field experimental observations, was obtained in 2012 by the INSTITUTE OF GEOPHYSICS named after S.I. Subbotin.

The main result of the analysis is the identification of vertical and horizontal alternation of high and low resistivity, both in the earth's crust and in the upper mantle. It is shown that the geoelectrical sections along all the profile sections of the model are characterized by a dip to the north of the consolidated basement surface depth and, accordingly, an increase of the near-surface layer conductivity. The conductivity anomaly in the consolidated earth's crust was revealed in the depth interval of 5-10 km with resistivity (ρ) of 5 Ohm·m, galvanically connected with the sedimentary cover. Deeper than 10 km, homogeneous and inhomogeneous layers in ρ alternate: 10-60 km with $\rho = 1000$ Ohm·m; 60-90 km with $\rho = 100$ and 1000 Ohm·m; 90-110 km with $\rho = 1000$ Ohm·m; 110-140 km with $\rho = 40$ and 1000 Ohm·m, the contact corresponds to the different ρ of normal geoelectrical sections of different-aged structures of the Scythian plate and the East European platform; also horizontally layered normal section.

It has been analyzed that earthquake sources of the Steppe Crimea seismic region are concentrated in geoelectrically inhomogeneous zones and tend to contact structures with ρ differ - above the upper margin, outside and between the conductivity anomalies in the consolidated rocks of the earth's crust. The considered material confidently indicates the confinement of hydrocarbon manifestations to the high electrical conductivity anomalies identified according to the data of geoelectromagnetical sounding and three-dimensional modeling, which are characterized by subvertical channels galvanically connected with sedimentary deposits, and layering in the earth's crust and upper mantle. Geoelectrical inhomogeneities, which reflect the current state of the earth's crust and upper mantle and are probably due to the influence of modern mantle fluids, correspond to manifestations of seismicity and hydrocarbon content.

Keywords: geoelectromagnetical methods, three-dimensional model interpretation, conductivity anomalies, seismicity.

Т. Бурахович, д-р геол. наук,
E-mail: burahovich@ukr.net;
А. Кушнир, д-р геол. наук,
E-mail: antonn@ukr.net;
В. Ильенко, канд. геол. наук,
E-mail: ivageophysicist@gmail.com;
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
просп. Академика Палладина 32, г. Киев, 03680, Украина

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ 3D ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕДР СТЕПНОГО КРЫМА. ЕВПАТОРИЙСКИЙ И САКСКИЙ ПРОФИЛИ

Проведена интерпретация части глубинной трехмерной геоэлектрической модели Крымского региона в пределах Сакского и Евпаторийского профилей, построенной по данным экспериментальных наблюдений низкочастотного электромагнитного поля Земли, полученных в 2012 г. Институтом геофизики им. С.И. Субботина Национальной академии наук Украины.

Основным результатом анализа является выделение вертикального и горизонтального чередования высокого и низкого удельного сопротивления как в земной коре, так и в верхней мантии. Показано, что геоэлектрические разрезы по всем профильным срезам модели характеризуются погружением на север глубины поверхности консолидированного фундамента и, соответственно, увеличением суммарной продольной проводимости приповерхностных слоев. Выявлено аномалию электропроводности в консолидированной земной коре в интервале глубин 5–10 км с удельным электрическим сопротивлением (ρ) 5 Ом·м, гальванически связанную с осадочными отложениями. Глубже 10 км чередуются однородные и неоднородные по ρ слои: 10–60 км с $\rho = 1000$ Ом·м; 60–90 км с $\rho = 100$ и 1000 Ом·м; 90–110 км с $\rho = 1000$ Ом·м; 110–140 км с $\rho = 40$ и 1000 Ом·м, контакт соответствует различным ρ нормальных геоэлектрических разрезов разновозрастных структур Скифской плиты и Восточно-Европейской платформы; горизонтально-слоистый нормальный разрез.

Проанализировано, что очаги землетрясений сейсмического района Степного Крыма концентрируются в геоэлектрически-неоднородных зонах и тяготеют к контактам с ρ – выше верхней кромки, за пределами и между аномалиями электропроводности в консолидированных породах земной коры. Рассмотренный материал уверенно свидетельствует о приуроченности проявлений углеводородов к выделенным по данным геоэлектромагнитного зондирования и трехмерного моделирования аномалиям высокой электропроводности, которые характеризуются субвертикальными каналами, гальванически связанными с осадочными отложениями, и расслоенностью в земной коре и верхней мантии. Геоэлектрические неоднородности, которые отражают современное состояние земной коры и верхней мантии и вероятно обусловлены влиянием современных мантийных флюидов, соответствуют проявлениям сейсмичности и нефтегазоносности.

Ключевые слова: геоэлектромагнитные методы, интерпретация трехмерной модели, аномалии электропроводности, сейсмичность.