

Магнітна характеристика і тектонічна будова земної кори Карпатської нафтогазоносною області як складова частина комплексних критеріїв вуглеводнів

М.І. Орлюк, М.І. Бакаржієва, А.В. Марченко, 2022

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

Надійшла 22 вересня 2022 р.

Уперше для території Карпатського регіону виконано якісний та кількісний аналіз геомагнітного поля і нафтогазоносності, який дав змогу виявити зв'язок родовищ вуглеводнів з намагніченістю земної кори на регіональному та локальному рівнях та особливостями глибинної будови земної кори за сейсмічними даними. Виявлена за геомагнітними критеріями закономірність поширення нафтових і газових родовищ Карпатської нафтогазоносною області підтверджується їх зв'язком з регіональними та локальними аномаліями гравітаційного поля та густини теплового потоку. Згідно з аналізом регіонального геомагнітного поля та магнітних моделей уздовж геотраверсів PANCAKE та RomUkrSeis, газові родовища розташовуються над магнітними блоками середньої та нижньої частин земної кори або в їх крайових частинах, а нафтові — над практично немагнітними глибинними блоками. Під насувною частиною Карпатської дуги чітко проявляються регіональні особливості структур земної кори, а саме починаючи з довготи м. Рахів переважає субмеридіональний напрямок простягання регіональних аномалій магнітного, гравітаційного та теплового полів і зон їх горизонтального градієнта. З цим добре узгоджується нафтогазоносність регіону — газові родовища приурочені до мінімальних величин горизонтального градієнта регіонального магнітного поля, підвищеного градієнта аномалій Буге, а також мінімальних значень горизонтального градієнта аномалій густини теплового потоку. В локальних геофізичних полях газові родовища тяжіють: до слабонегативних магнітних аномалій та їх градієнтних зон; переважно до негативних аномалій гравітаційного поля; позитивних аномалій густини теплового потоку на північному заході, в області Трансєвропейської шовної зони (безпосередньо Краковецького розлому), та негативних аномалій у Передкарпатському прогині. Нафтові та нафтоконденсатні родовища корелюють зі смугою позитивних аномалій магнітного поля, негативних аномалій гравітаційного поля та підвищених значень густини теплового потоку.

Основними глибинними розломами Карпатського регіону та крайової частини платформи у першому наближенні можна вважати Великомоствісько-Чернівецький, який характеризує зміну характеру магнітного і гравітаційного полів та густини теплового потоку, Рава-Руський, що відображає зону зчленування Східно- та Західноєвропейської платформ, Передкарпатський — границю Передкарпатського прогину та Складчастих Карпат на земній поверхні (а також границю архей(?) -палеопротерозойської та мезо-неопротерозойської кори згідно із сучасною міжнародною хроностратиграфічною шкалою [Gradstein, Ogg, 2020]), а також Закарпатський розлом. На підставі магнітних і сейсмічних даних запропоновано гіпотетичне глибинне положення цих розломів та можливий зв'язок з ними потоків вуглеводнів у верхню частину земної кори. Отже, геомагнітні критерії нафтогазоносності земної кори Карпатського регіону узгоджуються з результатами дослідження гравітаційного поля та аномалій густини теплового потоку, що дає змогу прогнозувати у першому наближенні поширення нафтових і нафтоконденсатних та газових і газоконденсатних родовищ за особливостями регіональних та локальних полів.

Ключові слова: геомагнітне поле, гравітаційне поле, тепловий потік, магнітна модель, глибинна будова, нафтогазоносність, родовища вуглеводнів, Карпатський ороген, профілі PANCAKE, RomUkrSeis.

Вступ. Геоманітне поле західного регіону України є фрагментом поля, яке відображає геологічні структури різного масштабу, пов'язані із зоною переходу від Східноєвропейського кратону (СЄК) до Західноєвропейської платформи та Альпійської складчастої структури. Відповідно до дрібномасштабних та супутникових знімачь зона зчленування СЄК з більш молодими утвореннями на заході, південному заході та півдні супроводжується тою чи іншою мірою аномаліями магнітного поля з простяганням, згідним з її границями. Публікація [Пашкевич и др., 1985] була однією з перших праць, в якій на підставі комплексного аналізу магнітного та гравітаційного полів і сейсмічних даних було виділено широку перехідну зону складної будови з неоднорідностями як давнього кратону, так і новоутвореними на стадії її формування. На сьогодні південно-західне обмеження СЄК пов'язують з лінією Тейссейре—Торнквіста (ТТЛ), зоною Тейссейре—Торнквіста (ТТЗ) і Трансєвропейською шовною зоною (ТЄШЗ) [Berthelsen, 1993; Atanasiu et al., 2005; Гинтов и др., 2014; Кутас и др., 2018; Орлюк и др., 2018; Grad, 2019; Пашкевич и др., 2020; Milano et al., 2019].

На рис. 1 подано рельєфне зображення схематичної карти аномального магнітного поля ΔV прикордонних областей території України, Молдови та Румунії, розроблену нами з використанням результатів [Beşutiu et al., 2000, 2015; Orlyuk et al., 2018б], яка дає уявлення стосовно характеру поля досліджуваного регіону. Аномальне магнітне поле для території Румунії в публікації [Beşutiu et al., 2012] призведено до висоти 3000 м, а для території України [Orlyuk et al., 2018б] та Молдови — до висоти 200 м. Для території України вихідне магнітне поле було розраховано на висоту 3000 м з використанням програмного модуля *montaj MAGMAP Filtering* системи *Oasis montaj* для обробки, аналізу, візуалізації та інтерпретації даних потенціальних полів [Geosoft, 2022].

Зіставлення характеру геоманітного поля з основними структурними елементами Карпатського регіону [Гнилко, 2011] свідчить

про відображення в магнітному полі насамперед перехідної зони від докембрійського СЄК до мезо-кайнозойських структур центральної Європи. Що стосується Передкарпатського прогину та Зовнішніх (Складчастих) Карпат, то чітко видно їх накладений характер відносно магнітних аномалій. Зокрема, Передкарпатський прогин розташований як над позитивними аномаліями північно-західного простягання (до меридіана 26° сх. д.), так і над негативними аномаліями субмеридіонального простягання на схід від цього меридіана. Складчасті Карпати також не відображаються в аномаліях геоманітного поля. Тільки Внутрішні Карпати вирізняються слабоаномальним диференційованим полем, характер загального простягання та розташування якого загалом узгоджується з їхньою структурою.

Для подальшого аналізу геоманітного поля, зіставлення його зі схемою розломноблокової тектоніки, розробки магнітних моделей уздовж геотрансектів використовували як вихідну карту аномального магнітного поля, так і його трансформанти, які несуть інформацію про намагніченість верхньої, середньої та нижньої частин земної кори [Орлюк та ін., 2018].

Розуміючи складність і певну умовність розділення поля на окремі складові (на рівні як аналізу поля, так і розробки магнітних моделей), все ж розглянемо стисло магнітні аномалії різних частин земної кори. Запропоновані карти надалі можна розглядати як допоміжні при інтерпретації аномального магнітного поля.

В аномальному магнітному полі ΔV відображається магнітна неоднорідність розрізу літосфери Землі, що дає можливість визначати за результатами його інтерпретації геометрію та магнітні параметри джерел різних шарів.

Найважливішим етапом таких досліджень є розробка карти геоманітного поля, призведеної до одного рівня, та його розділення на локальну і регіональну складові, які характеризують верхню та нижню частину розрізу земної кори. Додаткову інформацію про ті чи інші особливості будови земної кори, місця розташування розломів і

структур, перспективних на вуглеводні, можна отримати шляхом розрахунку трансформант магнітного поля у вигляді вертикального $d(\Delta B)/dz$ і горизонтального $d(\Delta B)/dx dy$ градієнтів. Зауважимо, що згідно з результатами досліджень намагніченість глибинних горизонтів земної кори та верхньої мантиї має індуктивну природу, тобто породи намагнічені за напрямком головного магнітного поля Землі B_{IGRF} . Отже, для достовірного виділення геометрії регіональних джерел і розломів земної кори необхідно спочатку звести геомагнітне поле до полюса, тобто до вертикальної намагніченості його джерел. В історичному аспекті застосування геомагнітного поля для дослідження будови та тектонічного районування Карпатського регіону викладено у багатьох публікаціях [Kutikhovskaya et al., 1981; Орлюк, 1983; Пашкевич і др., 1985; Кутас і др., 1996, 2018; Мончак, Анікеєв, 2017 та ін.]. У цій статті наведено насамперед результати геомагнітних досліджень, а саме: карти аномального магнітного поля та його трансформант, магнітні моделі вздовж геотрансектів PANCAKE та Rom-UkrSeis, а також результати якісного аналізу карт геомагнітного поля та його трансформант і магнітної неоднорідності земної кори у зіставленні з розломно-блоковою тектонікою та нафтогазоносністю земної кори. Окрім того, для виокремлення головних розломів Карпатського регіону, виявлення місць їх розташування на поверхні і в глибинній частині земної кори, а також потенційного зв'язку з ними родовищ вуглеводнів додатково було розроблено та проаналізовано карти регіональної та локальної складових гравітаційного поля (аномалій Буге) і густини теплового потоку. Зауважимо, що найбільш об'єктивною інформацією стосовно дослідження глибинних структур літосфери Землі, а також виявлення можливого зв'язку з проявами та родовищами корисних копалин, зокрема з нафтогазоносністю земної кори, є геофізичні поля та результати їх інтерпретації в комплексі із сейсмічними даними. У зв'язку з цим на стадії якісного аналізу нафтогазоносності земної кори у зіставленні з магнітним, гравітаційним і тепловим полями були використані тільки

ці поля та їхні трансформанти, а також чітко визначені за геологічними даними геологічні структури та їхні межі. Зважаючи на широке висвітлення інформації стосовно наявності нафтогазових родовищ у межах Карпатського регіону та їх приуроченості до окремих структур і структурних горизонтів [Атлас ..., 1998; Крупський, 2002; Кутас, 2021; Starostenko et al., 2021], автори обмежились зведенням останніх на картах геофізичних полів та їхніх трансформант.

Кarti аномального магнітного поля та його трансформант. У публікаціях [Orlyuk et al., 2018б, 2021] було розроблено цифрову карту аномального магнітного поля території України масштабу 1 : 500 000 на епоху 2015 р. з урахуванням результатів абсолютного магнітного знімання 1969—1971 рр., спостережень на пунктах вікового ходу 2010—2015 рр. і в обсерваторіях [Трегубенко та ін., 2013; Орлюк і др., 2015б].

З метою детальнішого аналізу геомагнітного поля виконано його розділення на різнохвильові компоненти, які пов'язані з різними шарами земної кори. Компоненту регіонального магнітного поля Карпатського регіону (рис. 2) отримано шляхом осереднення вихідного поля палеткою з радіусом 40 км, а локальну — як різницю між вихідним полем і регіональною компонентою $\Delta B_{лок} = \Delta B - \Delta B_{пер}$. Згідно з довжинами хвиль, регіональна компонента пов'язана переважно з нижньою та частково із середньою частинами земної кори з верхнім обмеженням на глибинах 10—15 км, нижнім — 35—55 км, а локальна зумовлена верхніми 10—15 км. Зауважимо, що отримана регіональна компонента геомагнітного поля з використанням програмного модуля MAGMAP Filtering системи Oasis montaj була зведена до полюса, тобто до вертикального намагнічування джерел магнітного поля, що дає змогу одержати більш достовірне визначення місць розташування глибинних розломів земної кори. Карту горизонтального градієнта геомагнітного поля було розраховано на основі карти, зведеної до полюса (рис. 2, в).

Головною особливістю геомагнітного поля території є наявність двох взаємно перпендикулярних простягань регіональних і

локальних аномалій — північно-східного та північно-західного. Великі локальні аномалії північно-східного простягання зрізаються найбільш інтенсивною частиною Львівської регіональної аномалії (500 нТл) північно-західного простягання. Із зоною підвищених значень регіональної компоненти поля просторово збігається Львівський палеозойський прогин [Орлюк, 1983]. На час утворення прогину виокремилися Ковельсько-Ратнівський та Північномолдавський виступи.

Мезозойський структурний комплекс у межах регіону представлений юрськими та крейдяними комплексами, які виповнюють Стрийський юрський прогин і Львівсько-Люблінську крейдяну западину. Південно-західна межа Стрийського прогину збігається з лінією Коханівка—Стрий. Це занурення відображається підвищеними значеннями (до 150 нТл) магнітного поля. Південно-західна межа крейдяної западини збігається з Городоцьким розломом, напрямком простягання якого відповідає простяганням ТЄШЗ. Згідно зі статтею [Кутас і др., 1996], Городоцький розлом може відображати межу архей(?) - палеопротерозойського та мезо-неопротерозойського фундаменту, що вказує на його виняткову роль в історії розвитку регіону. Отже, розглянуті структури та розломи й розломні зони, що їх обмежують, можуть бути регіонально перспективними на вуглеводні. Для подальшої деталізації отриманих регіональних закономірностей взаємозв'язку нафтогазоносності з магнітною неоднорідністю земної кори використано розроблену карту локальних магнітних аномалій та карту горизонтального градієнта регіональної компоненти геомагнітного поля.

Аналіз локальної компоненти аномального магнітного поля західного регіону свідчить про наявність в крайовій частині СЄК низки локальних аномалій, які з'єднуються у своєрідні смуги, приурочені до зони зчленування мезо-палеозойського та мезо-неопротерозойського фундаменту і мезо-неопротерозойського і архей(?) - палеопротерозойського фундаменту, які простягаються від західного кордону України до Румунії. Крім цієї смуги існують інші локальні ано-

малії переважно північно-східного та субмеридіонального простягання (рис. 2, *г*). Аналіз карти горизонтального градієнта регіональної компоненти геомагнітного поля (див. рис. 2, *в*) свідчить, що СЄК характеризується значною диференціацією поля за цією ознакою з наявністю широких зон максимальних їх значень здебільшого північно-східного та субширотного-меридіонального простягання. На південний захід від смуги підвищених градієнтів геомагнітного поля, яка простягається від м. Червоноград до м. Чернівці, у північно-західному напрямку простягаються зони підвищених градієнтів регіонального поля. Простягання максимумів та мінімумів горизонтального градієнта геомагнітного поля збігаються з простяганням структур ТЄШЗ (Ростоцька та Раваруська зони) і Карпатської дуги (Передкарпатський прогин і Складчасті Карпати). Смуга мінімального градієнта північно-західного напрямку (до 25° сх. д.) приурочена до зони зчленування палеопротерозойської та мезо-неопротерозойської кори і Передкарпатського прогину. Смуга підвищеного градієнта геомагнітного поля тяжіє до Складчастих Карпат та їхньому контакту з Передкарпатським прогином, а смуга з мінімальними значеннями градієнта геомагнітного поля повністю збігається із зоною Складчастих Карпат та близька до зони зчленування мезо-палеозойської та мезо-неопротерозойської кори.

Гравітаційне поле стосовно якісного аналізу та зв'язку з глибинною будовою досліджуваного регіону було використано в численних публікаціях, зокрема в одній з останніх [Starostenko et al., 2020]. Однак у більшості випадків поле аналізували тільки в регіональному плані, без поділу на різнохвильові компоненти, які несуть інформацію про густинну неоднорідність верхньої та нижньої частин земної кори. Тому ми розділили гравітаційне поле на регіональну та локальну складові, а також розрахували горизонтальний градієнт для регіональної складової з метою виділення місць розташування розломів на поверхні земної кори та їх глибинного положення з урахуванням їхньої ширини (зон впливу) (рис. 3). Регіональну

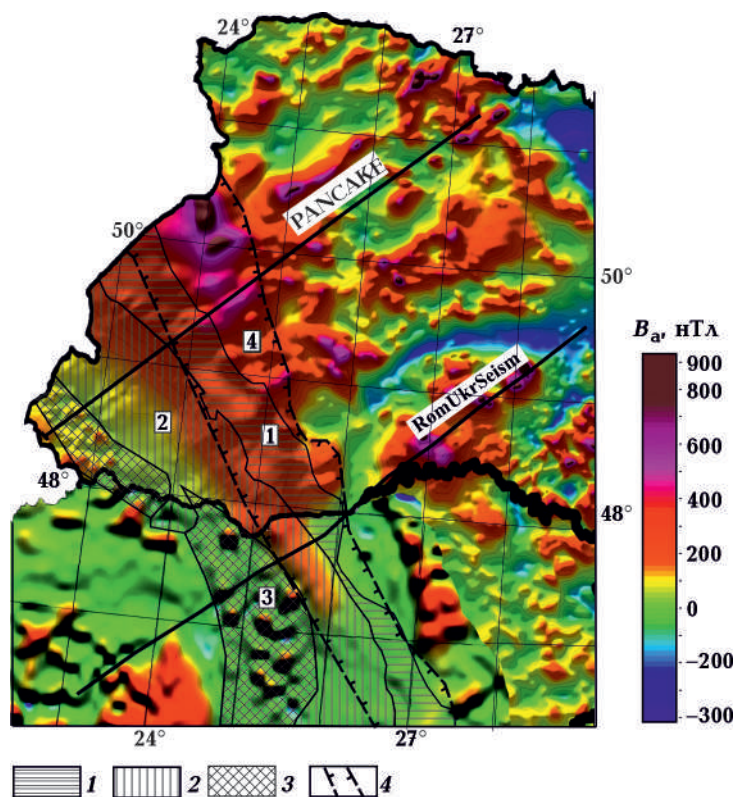


Рис. 1. Рельєфне зображення схематичної карти аномального магнітного поля ΔB території України, Молдови та Румунії (складена з використанням [Beșutiu et al., 2006, 2015; Orlyuk et al., 20186]: 1 — Передкарпатський прогин, 2 — Зовнішні Карпати, 3 — Внутрішні Карпати, 4 — межі Східноєвропейського кратону, зокрема в межах неопро-терозойського та фанерозойського орогенів, за [Bogdanova et al., 2016], з правкою авторів.

Fig. 1. Relief image of the schematic map of the anomalous magnetic field ΔB of the territory of Ukraine, Moldova and Romania (compiled using [Orlyuk et al., 20186; Beșutiu et al., 2006, 2015]: 1 — Pre-Carpathian depression, 2 — Outside Carpathians, 3 — Inner Carpathians, 4 — boundaries of the East European Craton, including within the Neoproterozoic and Phanerozoic orogens according to [Bogdanova et al., 2016] with the author's alteration.

Рис. 2. Карти аномального (а), регіонального зведеного до полюса (б), його горизонтального градієнта (в) і локального (г) магнітного поля у зіставленні з основними структурними елементами і нафтогазоносністю західного регіону України (з використанням [Кутас и др., 1996, 2018; Атлас ..., 1998]: 1 — державний кордон України, 2 — тектонічні одиниці; 3 — передбачувана межа мезо-палеозойського та мезо-неопротерозойського фундаменту, 4 — передбачувана межа мезо-неопротерозойського та архей(?) -палеопротерозойського фундаменту; 5 — родовища (а — газові та газоконденсатні, б — нафтові та нафтоконденсатні). Тектонічні одиниці: I — схил Східноєвропейської платформи (Львівський палеозойський прогин); Ia — Внутрішня (Ростоцька) зона Львівського палеозойського прогину; II — Західноєвропейська (палеозойська) платформа (Рава-Руська зона); III — Передкарпатський прогин; IV — зона Складчастих Карпат; V — Закарпатський прогин.

Fig. 2. Maps of the magnetic field: anomalous (a), regional poleward (b), its horizontal gradient (v) and local (r) in comparison with the main structural elements and oil-and-gas potential of the western region of Ukraine (using [Kutas et al., 1996, 2018; Ivaniuta, 1998; Tectonic ..., 2007]: 1 — state border of Ukraine, 2 — tectonic units, 3 — estimated boundary of the Meso-Paleozoic and Meso-Neoproterozoic basement, 4 — estimated boundary of the Meso-Neoproterozoic and Archean(?) -Paleoproterozoic basement, 5 — deposits (a — gas-and-gas-condensate, b — oil-and-oil-condensate). Tectonic units: I — slope of the East European Platform (Lviv Paleozoic depression); Ia — Inner (Rostoch) zone of the Lviv Paleozoic depression; II — Western European (Paleozoic) Platform (Rava-Rus'ka zone); III — Pre-Carpathian Depression; IV — Zone of the Folded Carpathians; V — Transcarpathian Depression.

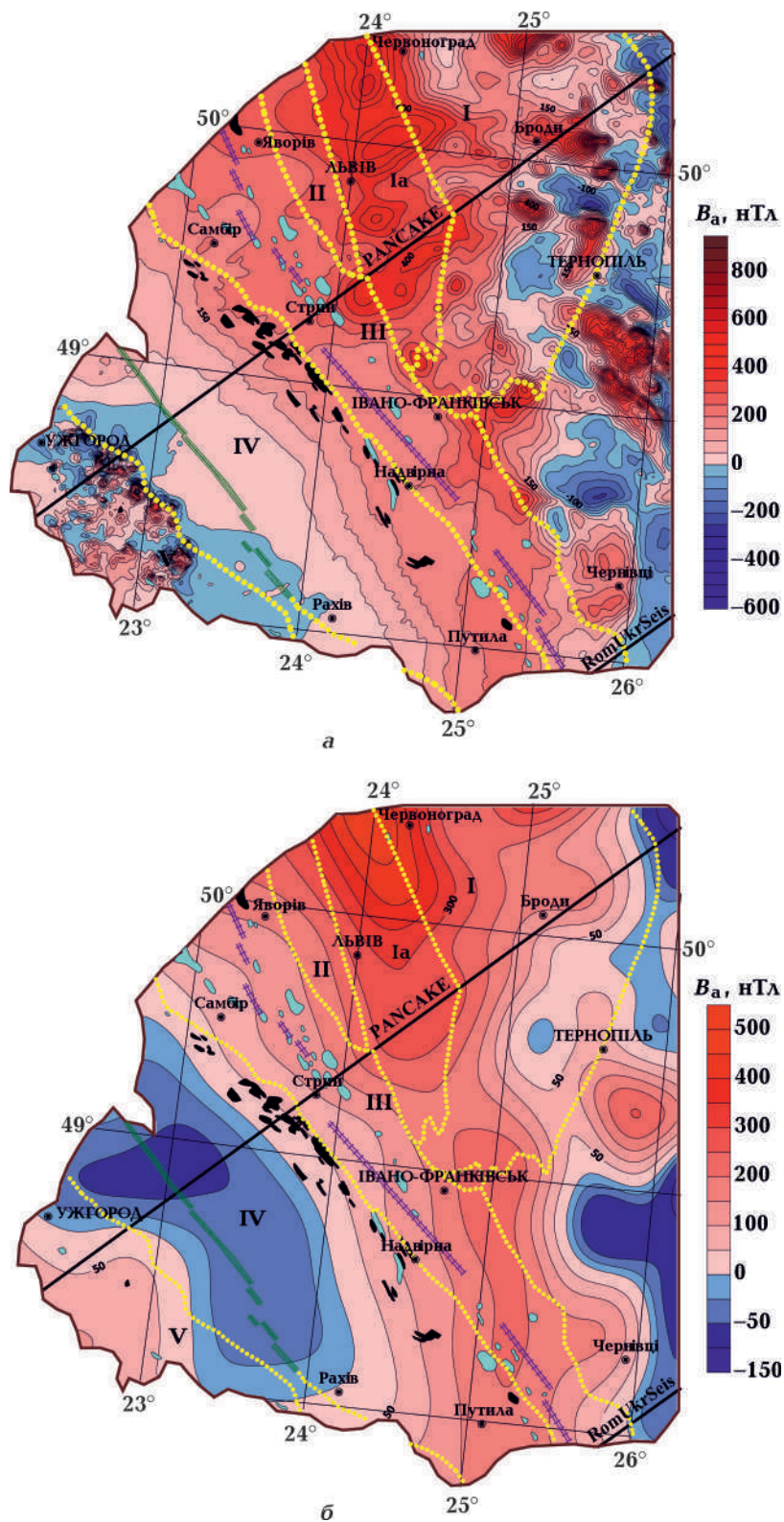


Рис. 2, а, б.

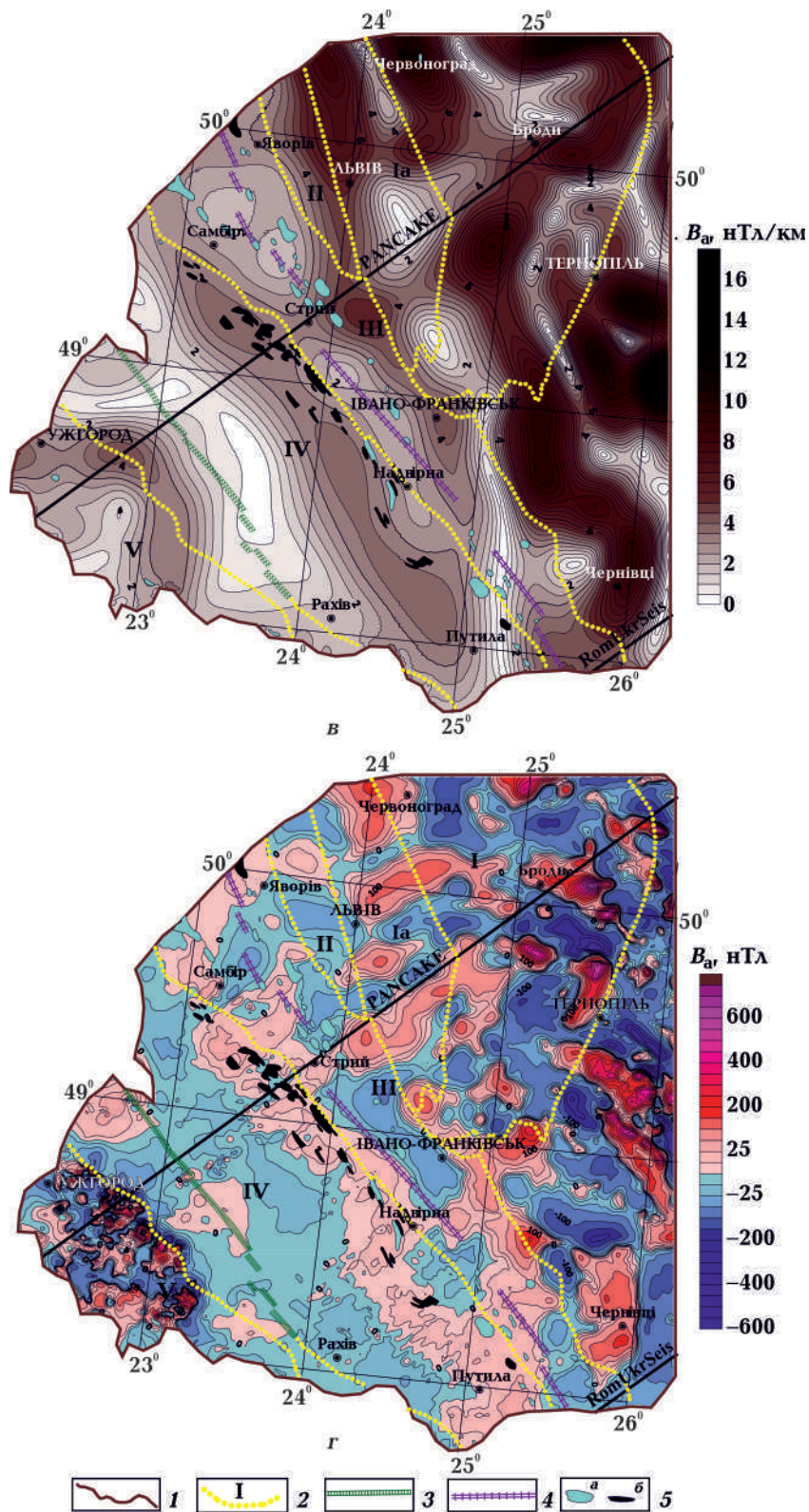


Рис. 2, в, г.

складову аномалій Буге отримано шляхом осереднення вихідного поля [Ентин і др., 2015] коміркою 40×40 км, а локальну складову — як різницю між вихідним полем і його регіональною компонентою.

Як бачимо з рис. 3, інтенсивність аномалій Буге регіональної складової змінюється

в межах від -90 до 52 мГал, локальної — від -28 до 22 мГал, а горизонтального градієнта регіональної компоненти — в межах від 0 до $2,4$ мГал/км. Згідно з картою регіональної компоненти поля та його горизонтального градієнта спостерігається досить проста їх структура, а саме зона підвище-

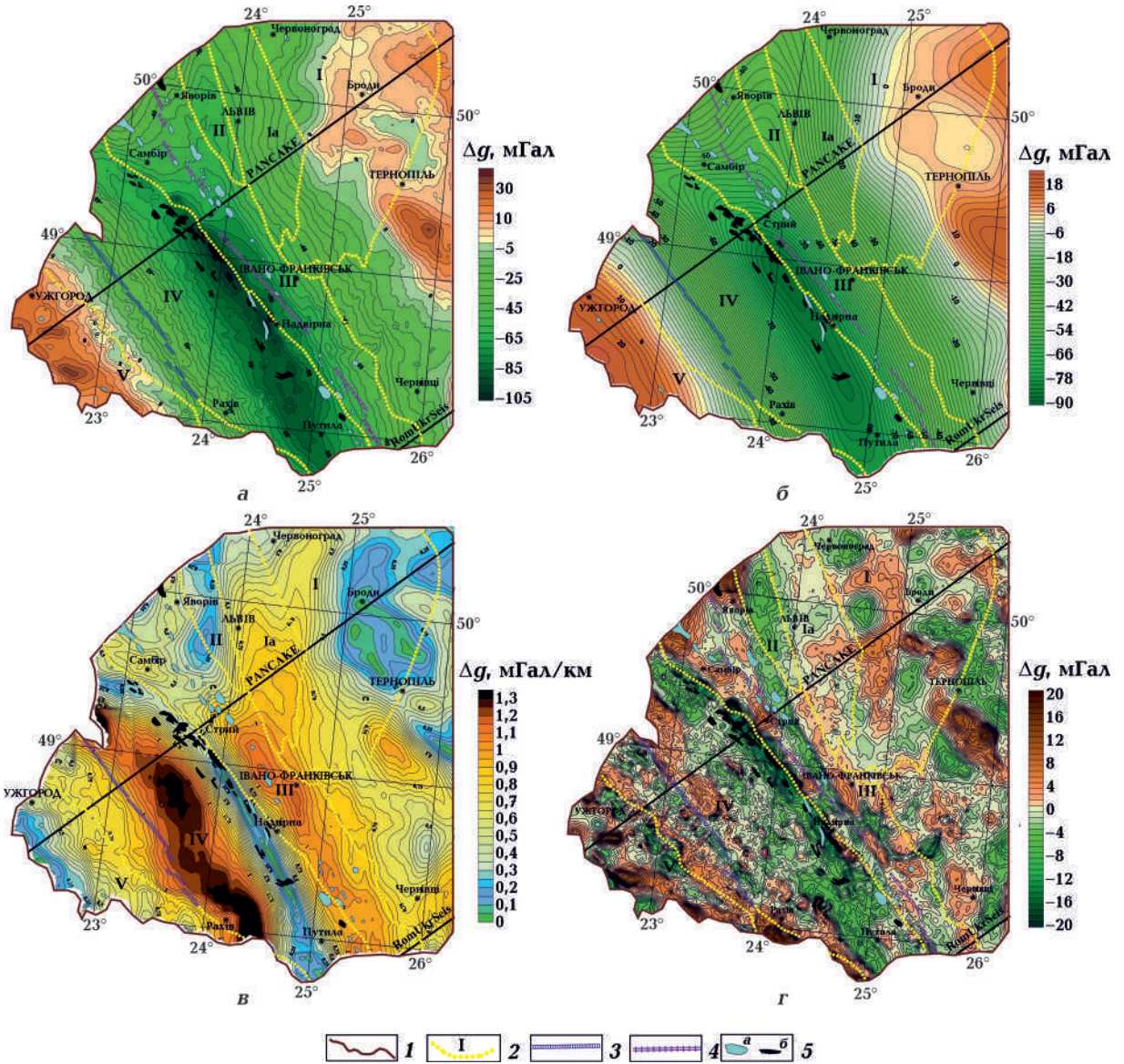


Рис. 3. Карта аномального гравітаційного поля $\Delta g_{\text{Буге}}$ (а) [Ентин і др., 2015], його регіональної складової (б), горизонтального градієнта (в) і локальної компоненти (г) Карпатського регіону у зіставленні з його основними структурними елементами та нафтогазоносністю (з використанням [Кутас і др., 1996, 2018; Атлас ..., 1998]). Умовні позначення див. на рис. 2.

Fig. 3. Map of the anomalous gravity field $\Delta g_{\text{Bouguer}}$ (a) [Entin et al., 2015], its regional component (б), horizontal gradient (в) and local component (г) of the Carpathian region in comparison with its main structural elements and oil-and-gas capacity (using [Kutas et al., 1996, 2018; Ivaniuta, 1998]). Conventional designations and structural elements see Fig. 2.

ного градієнта простежується приблизно в субмеридіональному напрямку вздовж 25-го меридіана, а південніше, починаючи з 50° пн. ш., вона роздвоюється і набуває північно-західного напрямку. Таке простягання підвищеного градієнта поля простежується приблизно до меридіана 24,5—25° сх. д., далі воно стає субмеридіональним (див. рис. 3, б, в). Південно-західна частина зони з підвищеним градієнтом до 1,4 мГал/км приблизно відповідає зоні зчленування архей(?) -палеопротерозойської та мезо-неопротерозойської кори. Далі на південний захід досить широка зона горизонтального градієнта збігається із зоною Складчастих Карпат, а на південному заході обмежується зоною зчленування мезо-палеозойської та мезо-неопротерозойської кори, що близько до межі Внутрішніх і Зовнішніх Карпат.

Зазвичай мінімальні значення горизонтального градієнта відповідають зонам мінімумів і максимумів регіональної компоненти поля. У цьому випадку найбільш глибокий мінімум відповідає зони, яка досить чітко оконтурює з північного сходу Карпатську дугу і практично збігається з Передкарпатським розломом.

Локальні аномалії Буге також чітко відтіняють регіональну структуру поля, а саме східніше субмеридіональної смуги підвищеного градієнта гравітаційного поля спостережено типове поле СЕК, а західніше та південно-західніше переважають аномальні смуги крайової переробленої частини Східноєвропейської платформи і карпатських структур. Конкретним прикладом є смуга негативних аномалій з інтенсивністю від (-10) до (-25) мГал і позитивних аномалій (5—10 мГал), які чітко приурочені до зони зчленування архей(?) -палеопротерозойської кори та межі Передкарпатського прогину і Складчастих Карпат.

Слід зауважити, що зони з підвищеними горизонтальними градієнтами мають значні поперечні розміри, що може свідчити про їх обумовленість геометрією поверхні кристалічної (консолідованої) кори та літологічною неоднорідністю великих блоків кори.

Теплове поле. Детальний аналіз густини теплового потоку у зв'язку з геотермічним режимом та геодинамічними побудовами наведено у статті [Кутас, 2022]. Зважаючи на те, що для аналізу регіональних і локальних особливостей магнітного та гравітаційного полів було використано спеціальну процедуру їх фільтрації, для теплового поля були застосовані ті ж методичні прийоми. Як бачимо з рис. 4, а, регіонально Східноєвропейська платформа характеризується фоновими значеннями густини теплового потоку 30—50 мВт/м², перехідна зона до Західноєвропейської платформи та Складчастих Карпат — 50—60 мВт/м². Далі на південний захід значення густини теплового потоку закономірно збільшуються, сягаючи у Закарпатті 80—85 мВт/м². Локальні особливості поширення аномалій густини теплового потоку з підвищенням значень до 5—15 мВт/м² чітко приурочені до перехідної зони (50—60 мВт/м²) і межі палеопротерозойської кори та зони зчленування Передкарпатського прогину і Складчастих Карпат (див. рис. 4, в).

У горизонтальному градієнті густини теплового потоку чітко проявляється меридіонально-широтний характер його поширення до Карпатської дуги. Така смуга простежується трохи східніше 24-го меридіана від м. Червоноград на півночі до м. Рахів на півдні. Інша смуга простягається приблизно вздовж 25-го меридіана на півночі та трохи східніше — на півдні території дослідження (див. рис. 4). Субширотне простягання смуг з підвищеним градієнтом густини теплового потоку простежується трохи північніше лінії Самбір—Тернопіль та широти м. Івано-Франківськ. Карпатське простягання зон максимального градієнта поля простежується південно-західніше міст Самбір—Стрий—Надвірна—Путила. Максимальні значення градієнта теплового поля характерні для центральної частини Складчастих Карпат. Локальні аномалії густини теплового потоку приурочені до межі Рава-Руської зони та Передкарпатського прогину на північному заході регіону та Передкарпатського прогину і Складчастих Карпат на південному сході (до 24,5° сх. д.).

Магнітна модель уздовж геотрансекту PANCAKE. Аналіз геомагнітного поля свідчить, що в межах профілю PANCAKE для СЄК характерне диференційоване магнітне поле з інтенсивністю від -250 до 400 нТл. Інтенсивність регіональної компоненти максимальна в межах Львівського палеозойського прогину та Передкарпатського прогину, далі поле плавно зменшується до практично нульових значень в області Внутрішніх Карпат. Локальна компонента має значну диференціацію в межах СЄК (± 250 — 400 нТл) і Закарпатського прогину (± 50 — 150 нТл), а в межах Передкарпатського прогину та Складчастих Карпат має інтенсивність не більше перших десятків нанотесла (див. рис. 5).

У публікаціях [Орлюк, 1983, 1984; Кутас і др., 1996] побудовані магнітні моделі земної кори вздовж геотранверсу II, положення якого близьке до розташування профілю PANCAKE. Було розроблено декілька варіантів магнітних моделей, зокрема з градієнтним розподілом намагніченості порід, які враховували регіональні особливості аномального магнітного поля. Магнітну модель розробляли за стандартною технологією шляхом розв'язання прямої задачі магніто-розвідки для уточнення геометричних параметрів джерел та їх намагніченості [Орлюк та ін., 2021]. Запропонована магнітна модель уздовж геотрансекту принципово не відрізняється від розроблених раніше, а саме підвищену намагніченість має земна кора крайової частини СЄК і перехідної зони до структур Центральної Європи. Глибинні магнітні джерела зазвичай розташовані в середній та нижній частинах земної кори, а в районі максимуму регіональної компоненти верхнє обмеження знаходиться на глибині близько 10 — 15 км. Згідно з результатами моделювання, магнітна частина земної кори на глибинах від 15 — 20 до 40 — 45 км з намагніченістю $1,5$ — $2,0$ А/м простежується до Передкарпатського розлому, який має південно-західне падіння і який напевно опосередковано пов'язаний з перпендикулярними до нього більш глибинними зонами зміщення порід земної кори у північно-східному напрямку. Джерело з намагнічені-

стю 1 — $1,5$ А/м (інтервал глибин 20 — 45 км) приурочено до краю СЄК. У верхній частині розрізу кори над цим джерелом на глибинах від 10 — 15 до 20 км наявне магнітне тіло з намагніченістю $1,0$ — $2,0$ А/м, яке просторово збігається із швидкісним хвилеводом (зі швидкістю поздовжніх хвиль $6,10$ — $6,20$ км/с на фоні $6,23$ — $6,27$ км/с). Найбільш занурена частина осадової товщі Карпатської дуги (її корінь) приблизно знаходиться над контактом магнітної (на північному сході) і немагнітної (на південному заході) частин консолидованої земної кори. Далі на південний захід виділяється слабко намагнічене тіло в середній корі, яке просторово збігається із Закарпатським прогином. Іншими словами, в районі геотрансекту PANCAKE північно-східна частина Карпатської дуги залягає на магнітній корі, а південно-західна — на немагнітній. Слід також зазначити наявність зони з намагніченою корою у верхній частині її розрізу між Рава-Руським, Краковецьким і Передкарпатським розломами (рис. 5).

Магнітна модель уздовж профілю Rom-UkrSeis. У 2016 р. уздовж профілю RomUkrSeis у співпраці із співробітниками Інституту геодинаміки Румунської академії наук було виконано спостереження модуля індукції геомагнітного поля на земній поверхні, що дало змогу отримати детальну структуру аномального магнітного поля [Орлюк та ін., 2021]. Аналіз геомагнітного поля свідчить, що максимальні його значення характерні для СЄК, де магнітні аномалії Подільського блока Українського щита мають інтенсивність до 400 нТл і більше. Далі на південний захід спостерігається мінімум поля до -150 нТл, який змінюється позитивною аномалією з максимумом в 175 нТл, що просторово збігається із Зовнішніми Карпатами та Передкарпатським прогином. Внутрішні Карпати характеризуються досить диференційованим магнітним полем, його фонові значення змінюються від практично нульових на північному сході профілю до -150 нТл на межі з Трансильванським бассейном.

Для побудови магнітної моделі використано геомагнітне поле ΔB , структуру літо-

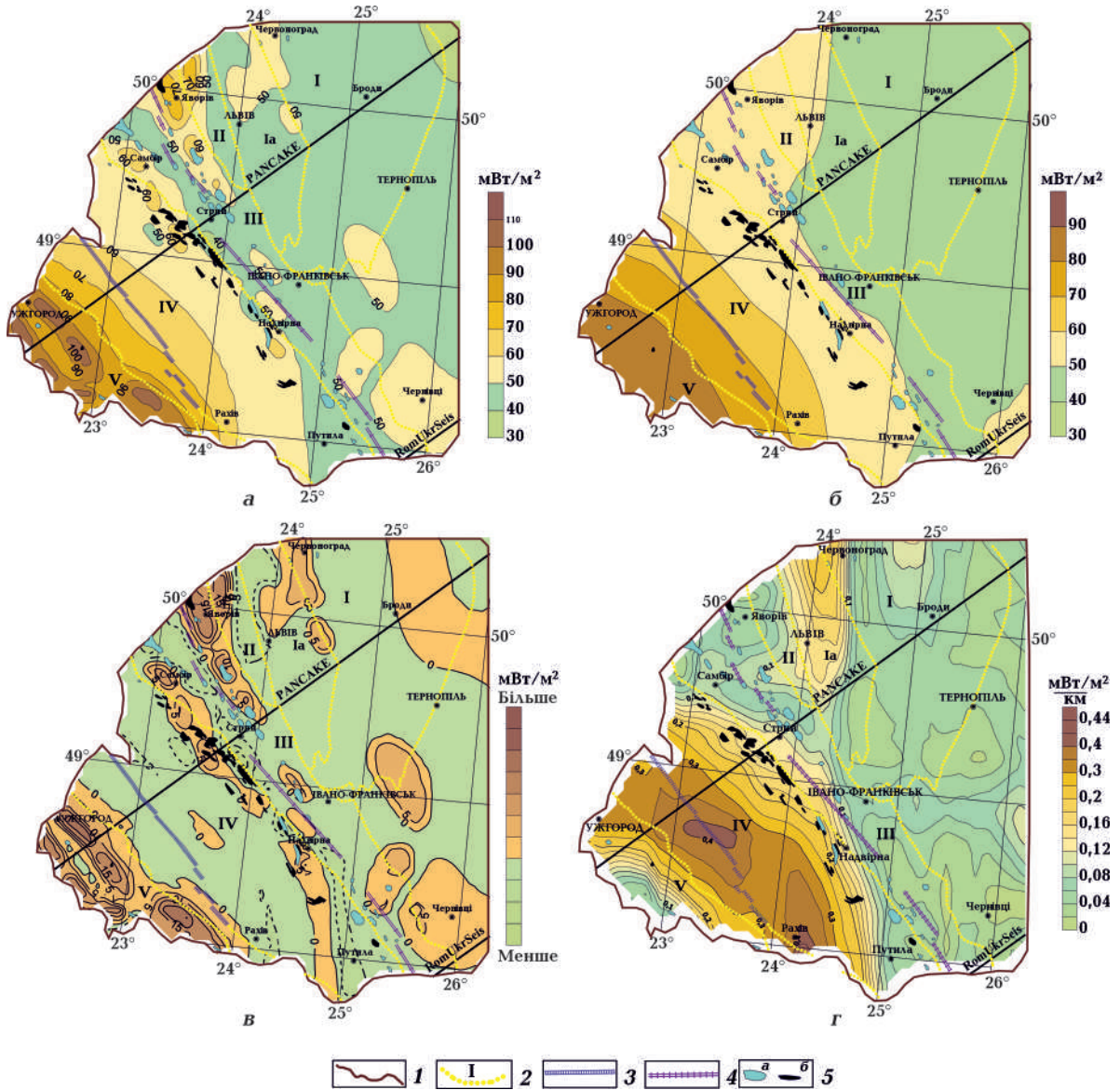


Рис. 4. Густина теплового потоку Карпатського регіону [Кутас, 2021] (а), його регіональна (б) і локальна (в) складові, а також горизонтальний градієнт регіональної компоненти густини теплового потоку (r) у зіставленні з основними структурними елементами і нафтогазоносністю західного регіону України (з використанням [Кутас і др., 1996, 2018; Атлас ..., 1998]). Умовні позначення та структурні елементи див. на рис. 2, 3.

Fig. 4. Heat flow density of the Carpathian region [Kutas, 2021] in comparison with the main structural elements and oil-and-gas deposits of the western region of Ukraine (using the [Kutas et al., 1996, 2018; Ivaniuta, 1998]). Conventional designations and structural elements see Fig. 2, 3.

сфери за сейсмічною моделлю [Starostenko et al., 2020], схему розломно-блокової тектоніки [Кутас і др., 1996], а також апріорні дані щодо намагніченості порід, які відслонюються в межах профілю на територіях України та Румунії. Згідно з моделлю, підвищену намагніченість має безпосередньо земна

кора Подільського блока Українського щита. У глибинній частині намагнічена вся кора цього блока, а у верхній частині виділено три джерела на глибинах від 3—5 до 17,5—20 км. Далі на південний захід практично немагнітна кора просторово збігається з вузлом перетину зон Подільського (пів-

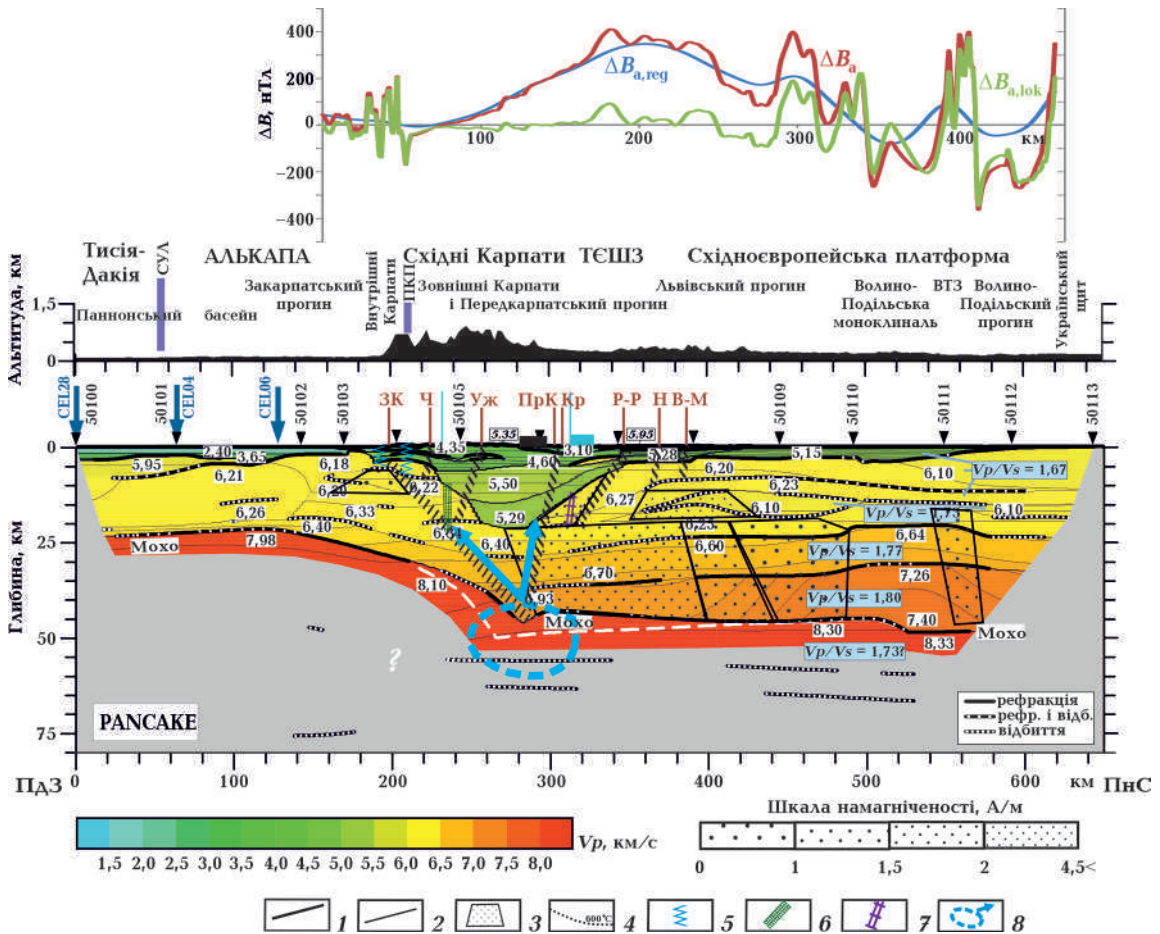


Рис. 5. Магнітна модель земної кори вздовж профілю PANCAKE (сейсмічна модель за [Starostenko et al., 2013, 2022]): 1 — межа відбиття або рефракції за P -хвилями; 2 — ізолінії швидкості, км/с (білі прямокутники); 3 — магнітні джерела; 4 — ізотерма Кюрі; 5 — флюїдно-магматичні канали; 6 — прогнозована межа мезо-неопротерозойської та палеозойської кори; 7 — прогнозована межа архей(?) -палеопротерозойської та мезо-неопротерозойської кори; 8 — потенційне джерело вуглеводнів та шляхи його надходження в земну кору. Чорні стрілки — розташування пунктів вибуху. Позичці тектонічних одиниць вказано зверху. Прямокутники на профілі: чорний — проєкції на поверхні узагальнених контурів нафтових і нафтогазових родовищ, блакитний — газових і газоконденсатних родовищ. Штриховкою винесено зони основних розломів: ЗК — Закарпатський, Ч — Чорногородський, Уж — Ужоцький, ПрК — Передкарпатський, Кр — Краковецький, інші див. на рис. 2.

Fig. 5. Magnetic model of the Earth's crust along the PANCAKE profile (seismic model according to [Starostenko et al., 2013, 2022]): 1 — boundaries of reflection or refraction by P waves; 2 — velocity isolines, km/s (white rectangles); 3 — magnetic sources; 4 — Curie isotherm; 5 — fluid-magmatic channels; 6 — predicted boundary of Meso-Neoproterozoic and Paleozoic crust; 7 — predicted boundary of the Archaean(?) -Paleoproterozoic and Meso-Neoproterozoic crusts; 8 — a potential source of hydrocarbons and ways of its entry into the Earth's crust. Black arrows show the location of the explosion points. Zones of the main faults are shown by hatching: ЗК — Zakarpatskyi, Ч — Chornogolovskiy, Уж — Uzhotskyi, ПрК — Predkarpatskyi, Кр — Krakovetskyi, others see Fig. 2.

нічно-західного простягання) і Ровенського (субмеридіонального простягання) розломів. Далі на південний захід виокремлюється магнітне джерело з боковими обмеженнями південно-західного падіння (північно-

західне обмеження близьке до Передкарпатського розлому [Кутас и др., 1996] і сейсмофокальної зони [Шеремет та ін., 2011], а південно-західне — до Закарпатського розлому), яке просторово відповідає зоні зниже-

них швидкостей поздовжніх хвиль. Південно-західніше цього джерела виділено слабомагнітне тіло на глибині від 25 км до поверхні Мохо, а також флюїдно-магматичні канали, визначені за локальними знакозмінними аномаліями, які, напевно, відображають місця неогенового вулканізму (рис. 6). Згідно зі статтею [Шеремет та ін., 2011], за результатами інтерпретації геофізичних даних за профілем РП-5 у районі поверхні Мохо в цьому місці розташоване потенційне джерело генерації вуглеводнів, які можуть проникати у верхню частину земної кори в зонах Передкарпатського та Закарпатського розломів.

Магнітна неоднорідність земної кори, отримана за результатами магнітного моделювання, добре узгоджується зі структурою кори та її швидкісною неоднорідністю за сейсмічними даними, аномаліями Буге та густиною теплового потоку. Земна кора Подільського блока Українського щита з підвищеною намагніченістю характеризується підвищеними потужністю та швидкістю поширення поздовжніх хвиль. В межах Передкарпатського прогину і Зовнішніх Карпат виділено магнітне джерело завширшки близько 40 км, яке поширюється до поверхні Мохо і добре узгоджується з низькошвидкісною корою в межах як осадового чохла, так і кристалічної кори регіональним мінімумом аномалії Буге та підвищеними значеннями густини теплового потоку. Земна кора Внутрішніх Карпат і Трансильванського басейну характеризується слабкою намагніченістю та потужністю. Магнітні джерела між Передкарпатським і Закарпатським розломами та регіональний мінімум аномалії Буге можуть свідчити про ширину ТЄШЗ в районі геотрансекту.

Магнітна неоднорідність земної кори регіону у зв'язку з проблемами нафтогазоносності. Аналіз аномального магнітного поля та його складових разом з розробленими магнітними моделями вздовж геотрансектів PANCAKE та RomUkrSeis і розташуванням нафтогазових родовищ Карпатського регіону дає змогу намітити деякі нові аспекти їх взаємозв'язку з регіональними та локальними магнітними аномаліями,

глибинною магнітною неоднорідністю земної кори, зонами глибинних розломів та ін.

Зіставлення нафтогазоносності земної кори регіону з геомагнітним полем ΔВ та його трансформантами. Регіонально родовища вуглеводнів приурочені до крайової частини Львівської магнітної аномалії, а на південному сході — до максимуму аномалії субмеридіонального простягання. Газові прояви Закарпаття також приурочені до краю позитивної магнітної аномалії Закарпатського прогину (див. рис. 2, б). Згідно з картою горизонтального градієнта геомагнітного поля газові родовища вирізняються мінімальними його значеннями як на північному заході, так і на південному сході. На північному заході газові родовища «успадковують» широкий «роздвоєний» мінімум карпатського напрямку та ТЄШЗ, а на південному сході розташовані в зоні субмеридіонального мінімуму горизонтального градієнта поля. Нафтові та нафтоконденсатні родовища майже повністю припадають на зону підвищеного градієнта геомагнітного поля, лише на південному сході спостерігається певне відхилення від цієї закономірності, де вони трохи зміщуються на схід відносно мінімуму градієнта поля. У локальному геомагнітному полі найбільш закономірний зв'язок спостерігається для нафтових та нафтоконденсатних родовищ, які повністю розташовані в межах позитивних магнітних аномалій інтенсивністю до 50—75 нТл. Газові родовища більше тяжіють до негативних аномалій або до градієнтних локальних зон. На південному сході території дослідження газові родовища приурочені, як і нафтові, до позитивної аномалії овальної форми (див. рис. 2, г). Згідно з результатами моделювання вздовж геотрансектів PANCAKE та RomUkrSeis, газові родовища розташовуються над глибинними блоками середньої та нижньої частини земної кори, а нафтові — над практично немагнітними глибинними блоками.

Зіставлення нафтогазоносності земної кори з гравітаційним полем аномалій Буге. Нафтогазові та газові родовища приурочені до Карпатського мінімуму інтенсивністю

від -30 до -90 мГал [Starostenko et al., 2022] (див. рис. 3). На північному заході газові родовища розташовуються в субширотному (Карпатському) і північно-західному (пов'язаному з ТЄШЗ) мінімумах. Нафтові родовища чітко приурочені до центральної частини Передкарпатського мінімуму. Цікавим є їх розташування відносно горизонтального градієнта аномалій Буге, а саме: практично всі нафтові та нафтоконденсатні родовища припадають на зону мінімального градієнта, а газові — на північному заході мають різне співвідношення з градієнтними зонами — як із зоною підвищеного градієнта карпатського напрямку, так із зоною його знижених значень у межах ТЄШЗ. На південний захід від $23,5^\circ$ сх. д. спостерігається чітка приуроченість газових родовищ до зони підвищеного градієнта аномалій Буге (див. рис. 3, в). Газові родовища Передкарпатського прогину не мають однозначного співвідношення з локальними гравітаційними аномаліями, вони збігаються з їх максимумами і мінімумами та з зонами їх градієнтів. Натомість переважна більшість нафтових і нафтогазових родовищ, розташованих в зоні зчленування Складчастих Карпат та Передкарпатського прогину, тяжіють до мінімумів гравітаційних аномалій на всьому ареалі їх поширення. Цікавим є факт повного узгодження розташування нафтових і нафтогазових родовищ з віссю регіонального мінімуму та, відповідно, з мінімальними значеннями горизонтального градієнта гравітаційного поля (див. рис. 3, б—г).

Зіставлення нафтогазоносності земної кори з аномаліями густини теплового потоку. Насамперед слід зазначити, що нафтові та газові родовища розміщуються в зоні з густиною теплового потоку $40\text{--}50$ мВт/м² і крайовій зоні на сході. Ця зона займає практично весь Передкарпатський прогин і частину Складчастих Карпат. При цьому нафтові та нафтоконденсатні родовища контролюються смугою локальних позитивних аномалій інтенсивністю $5\text{--}10$ мВт/м², яка приурочена до північно-східної частини Складчастих Карпат, а на південному сході — до аномалії субмеридіанального простя-

гання. Газові родовища збігаються як з аномаліями підвищених значень ($10\text{--}20$ мВт/м²) на північному заході, в межах ТЄШЗ, так і з негативними аномаліями, які простежуються в межах Передкарпатського прогину. Відносними мінімумами аномалій густини теплового потоку характеризуються і родовища Закарпатського прогину. Виявлено певні закономірності розташування нафтогазових родовищ щодо зон горизонтального градієнта густини теплового потоку, а саме: газовим родовищам властиві мінімальні значення горизонтального градієнта регіонального поля, а нафтові належать до зони різкого зростання горизонтального градієнта густини теплового потоку в південно-західному напрямку.

Обговорення результатів дослідження. Результати якісного аналізу аномального магнітного поля та його трансформант, а також магнітних моделей уздовж геотрансектів PANCACE та RomUkrSeis у сукупності з картами гравітаційного поля й аномаліями густини теплового потоку дали змогу отримати нові дані щодо зв'язку з ними родовищ вуглеводнів. Насамперед необхідно зазначити, що за регіональними особливостями геомагнітного, гравітаційного та термічного полів виявлено доволі просту структуру геофізичної неоднорідності літосфери Карпатського регіону: для СЄК характерна значна диференціація магнітного та гравітаційного полів з наявністю овалоподібних і витягнутих аномалій субмеридіанально-широтного та північно-східного простягання. В аномаліях густини теплового потоку СЄК виділяється значеннями $30\text{--}40$ мВт/м², яка на заході та південному заході території дослідження (виділено за зоною підвищеного горизонтального градієнта) проходить по меридіану 24° сх. д., потім удовж південно-західного краю Передкарпатського розлому і знову набуває субмеридіанального напрямку вздовж 25° сх. д. Іншою зоною різкого горизонтального градієнта є широка зона зчленування Складчастих Карпат і Закарпатського прогину, яка близька до межі мезопалеозойської та мезо-неопротерозойської кори. Отже, у регіональному відношенні в усіх геофізичних полях виділяється своє-

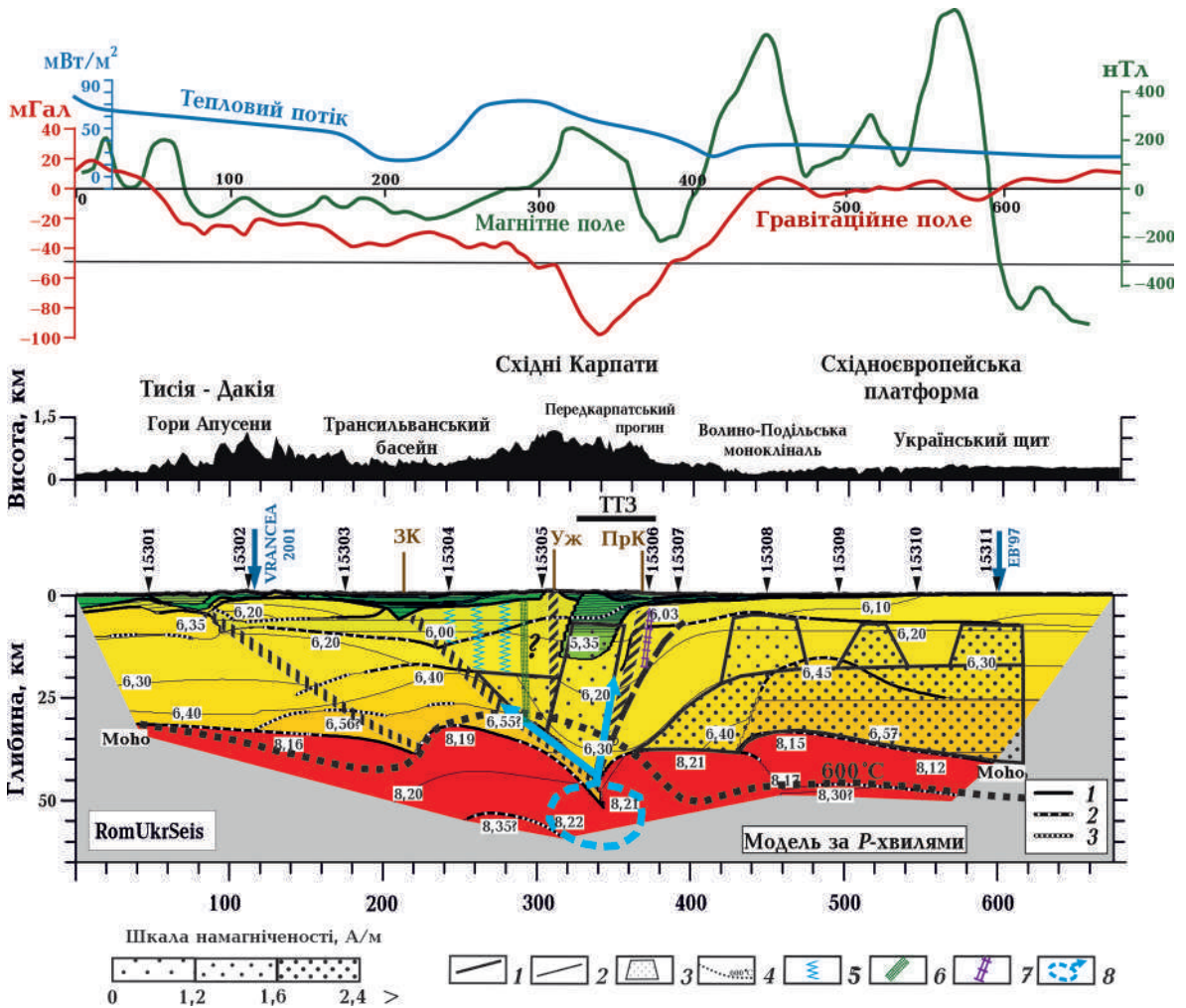


Рис. 6. Магнітна модель земної кори вздовж профілю RomUkrSeis, розроблена з використанням праць [Кутас і др., 1996; Шеремета і др., 2011; Starostenko et al., 2020]. Умовні позначення див. на рис. 5.

Fig. 6. Magnetic model of the Earth's crust along the RomUkrSeis profile, developed using works [Kutas et al., 1996; Sheremeta et al., 2011; Starostenko et al., 2020]. Conventional designations and structural elements see Fig. 5.

рідна перехідна зона між ССК і Карпатами та карпатськими напрямками простягання осей аномалій та зон їх горизонтального градієнта з переважанням останніх (напрямоків), починаючи із зони зчленування Передкарпатського прогину та Складчастих Карпат. Особливу роль можна відвести межі (зоні) зчленування кори різного віку, а саме архей(?)-палеопротерозойського та мезо-неопротерозойського, над якою розташований Передкарпатський прогин. При цьому його північно-східна частина розташована на архей(?)-палеопротерозойському фунда-

менті, а південно-західна — на мезо-неопротерозойському. Межа цих двох типів кори приблизно відповідає зоні зчленування Кросненської і Дуклянської та Чорногорської зон Складчастих Карпат [Кутас, 2021]. Зауважимо, що під насувною частиною Карпатської дуги чітко проявляються регіональні особливості структур земної кори, оскільки починаючи з довготи м. Рахів переважає субмеридіональне простягання регіональних аномалій магнітного, гравітаційного та теплового полів і зон їх горизонтального градієнта (див. рис. 2—4).

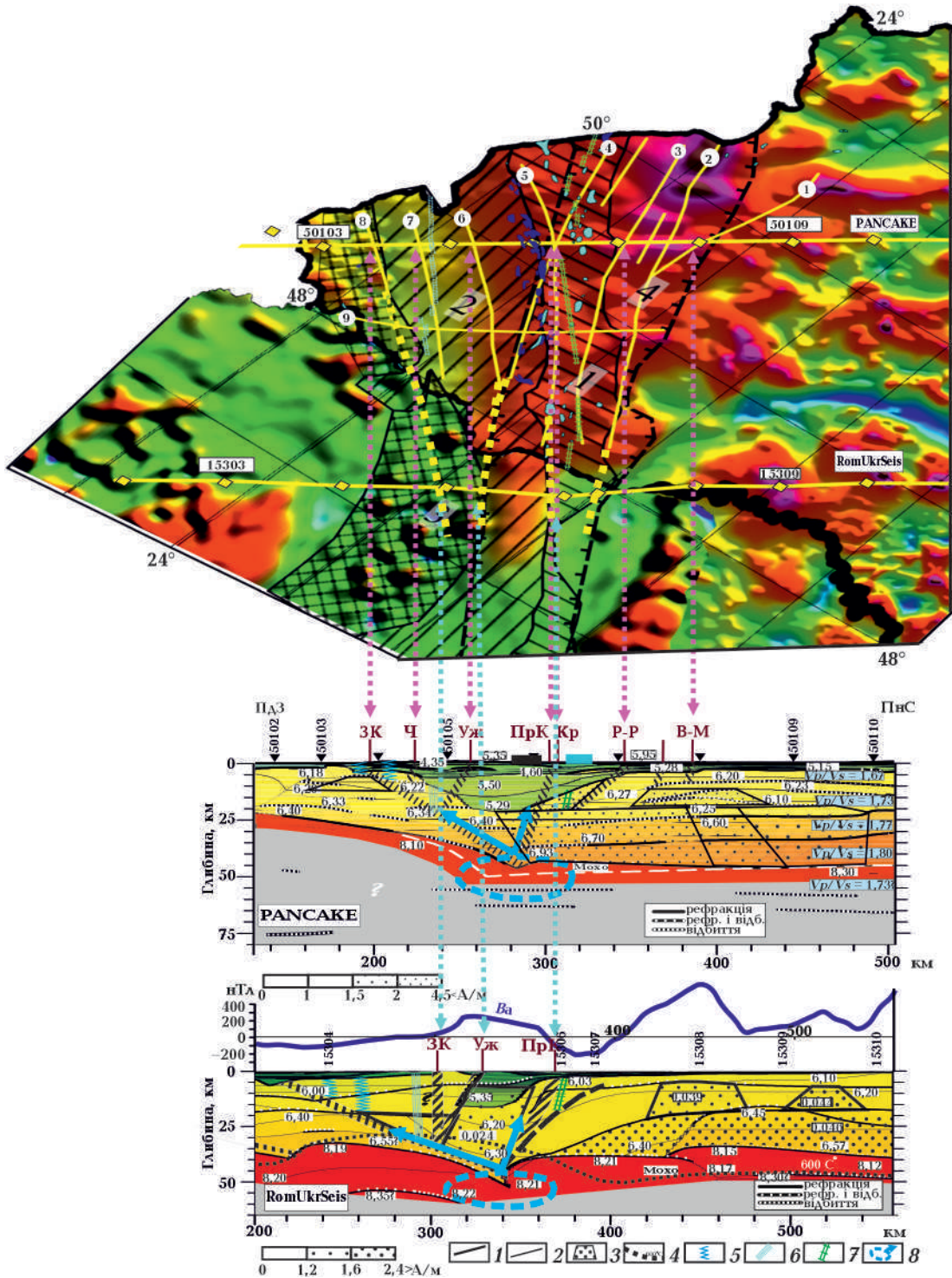


Рис. 7. Геомагнітне поле Українських Карпат та глибинна будова земної кори вздовж геотрансектів PANCAKE і RomUkrSeis за сейсмічними та магнітними моделями. Основні розломи: 1 — Радеківський, 2 — Великомоствівський, 3 — Рава-Руський, 4 — Краковецький, 5 — Передкарпатський, 6 — Ужоцький, 7 — Черноголовський, 8 — Закарпатський. Інші умовні позначення див. на рис. 5, 6.

Fig. 7. The geomagnetic field of the Ukrainian Carpathians and the deep structure of the Earth's crust along the PANCAKE and RomUkrSeis geotranssects according to seismic and magnetic models. *Main faults*: the yellow line is reliable and the dashed line is predicted: 1 — Radekhivskyi, 2 — Veliko-Mostivskyi, 3 — Rava-Ruskyi, 4 — Krakovetskyi, 5 — Pre-Carpathian, 6 — Uzhotskyi, 7 — Chornogolovskiy, 8 — Zakarpatskyi. Conventional designations and structural elements see Fig. 5, 6.

У регіональних геофізичних полях газові родовища тяжіють до:

- мінімальних значень горизонтального градієнта магнітного поля;
- підвищеного градієнта аномалій Буге, особливо у південно-східній частині території;
- мінімальних значень горизонтального градієнта аномалій густини теплового потоку.

У локальних геофізичних полях газові родовища тяжіють до:

- слабо негативних магнітних аномалій та їх градієнтних зон;
- переважно негативних аномалій гравітаційного поля;
- позитивних аномалій густини теплового потоку на північному заході в межах Краковецького розлому та негативних аномалій в зоні Передкарпатського прогину.

Нафтові та нафтогазові родовища мають більш тісний зв'язок з аномаліями геофізичних полів, а саме спостережено повну відповідність їх поширення зі смугою:

- позитивних аномалій магнітного поля;
- негативних аномалій гравітаційного поля;
- підвищених значень густини теплового потоку.

Згідно з результатами дослідження, найбільш визначальним «тектонічним елементом» літосфери Землі регіону є глибинний лінеамент (розломна зона, перехідна зона), який однозначно проявляється як у регіональних, так і в локальних особливостях магнітного і гравітаційного полів та аномаліях густини теплового потоку і визначає розташування нафтових і газових родовищ. Згідно із швидкісними моделями [Starostenko et al., 2020, 2022], цей «тектонічний елемент» у верхній частині розрізу земної кори представлений прогином значних розмірів, від 100—130 км за латераллю та глибиною 25 км у районі профілю PANCAKE до 40 × 15 км у районі профілю RomUkrSeis (рис. 7). Цей прогин виповнений різновіковими осадами і має складну будову, пов'язану з формуванням ТЄШЗ на каледонському і варисському етапах і Карпатського орогену під час альпійського тектогенезу. Магнітне моделювання вздовж цих профілів показало, що

вздовж профілю PANCAKE магнітною є нижня та середня частини кори, які за латераллю поширюються приблизно до середини прогину (максимальної глибини осадового чохла), а в районі профілю RomUkrSeis магнітною є вся кора прогину, включно з осадовим чохлам. Це добре узгоджується з тим, що саме таке розташування має межа архей(?)-палеопротерозойського та мезо-неопротерозойського фундаменту (див. рис. 2, 5—7). Загалом можна помітити, що на території України ця зона має складну природу в її північно-західній частині, де починаючи з верхнього протерозою вздовж краю СЄК формувались зони прогинів рифейського, палеозойського та крейдяного віку (так звана ТЄШЗ, за [Гинтов и др., 2014; Starostenko et al., 2021], з накладенням на них пізніше альпійського Передкарпатського прогину. Відповідно до цих декількох етапів тектонічного розвитку Карпат та зони їх зчленування з СЄК відбувалося стадійне формування родовищ вуглеводнів. На рифей-палеозойському етапі відбувались деструкція і розтягнення літосфери, утворення морських басейнів, нагромадження осадів, формування глибинних флюїдних і газових потоків тощо [Кутас, 2021]. У мезозої розпочався процес формування вуглеводнів, що узгоджується з активізацією субдукційних і колізійних процесів, зануренням на різні глибини і нагріванням збагачених різноманітною органічною речовиною осадових товщ. На останній стадії відбуваються генерація, міграція і накопичення вуглеводнів. Друга та третя стадії утворення родовищ вуглеводнів можуть супроводжуватися зміною магнітних параметрів порід на шляху проходження вуглеводнів.

Розглянуті вище закономірності щодо зв'язку родовищ вуглеводнів різного фазового складу з регіональними та локальними аномаліями і з поширенням намагніченості за результатами моделювання вздовж профілів PANCAKE та RomUkrSeis практично повністю узгоджуються із закономірностями, що отримані для Дніпровсько-Донецького авлакогену, і підтверджують запропоновані [Орлюк, 1999] три типи зв'язку нафтогазоносності кори з її намагніченістю на ре-

гіональному рівні: генетичний, структурний та структурно-генетичний, в разі як біогенного, так і абіогенного походження вуглеводнів.

Генетичний тип — збільшення намагніченості порід на шляхах міграції вуглеводнів (по ослаблених зонах та зонах глибинних розломів) при температурах понад 200—250 °С. Такий механізм підтверджений експериментально, і його з успіхом можна застосувати і у разі органічного і неорганічного походження вуглеводнів. Так, головна та нижня (катагенетична) зони газоутворення належать до зон мезо- та катагенезу з температурами 200 °С і вище, при яких, згідно з експериментальними даними, збільшується намагніченість внаслідок новоутворення магнітних залізистих мінералів, переважно магнетиту та самородного заліза [Орлюк, Пашкевич, 1996]. Зона нафтоутворення лежить у температурному інтервалі 50—150 °С, де відновлювальні процеси уповільнені.

Структурний тип — структури розтягування та прогинання консолідованої кори сприятливі для накопичення та захоронення органічної речовини, вихідної для утворення нафти та газу. При класичному розвитку нафтогазоносного басейну формування нафтових, нафтогазових та газових родовищ визначається вихідним складом органічної речовини, глибиною її занурення та температурним режимом [Галушкин, Кутас, 1995]. Магнітні блоки консолідованої кори, що фіксують структури розтягування, в осадовому басейні більш занурені порівняно із слабomagнітними, що зумовлює глибоководний вихідний склад нафтогазоматеринських товщ. Органічна речовина над магнітними блоками потрапляє в зону газоутворення, і над немагнітними блоками вихідна речовина опиняється в зоні нафтоутворення.

Структурно-генетичний тип — структури розтягування та прогинання кори без суттєвої інверсійної стадії розвитку фіксуються глибинними блоками підвищеної намагніченості, а консолідована кора в них утворена породами основного та частково ультраосновного складу. При проходженні мантийних вуглеводнів початкова намагніченість порід в умовах підвищеної тріщинуватості

та наявності розломів може збільшуватися за першим механізмом.

Розташування газових родовищ Передкарпатського прогину над магнітними блоками земної кори, а нафтових над немагнітними блоками консолідованої кори повністю узгоджується із запропонованими механізмами їх взаємозв'язку. Це може бути використано для регіонального прогнозування нафтогазоносності земної кори досліджуваної території.

Досить однозначною є приуроченість нафтових родовищ Бориславсько-Покутського покриву до смуги позитивних локальних магнітних аномалій, менш визначеною — для газових родовищ, розташованих у піднасувній зоні Самбірського розлому, для яких виявлено зв'язок як з негативними, так і з позитивними аномаліями геомагнітного поля. Таку розбіжність можна пояснити масштабом карти (1 : 500 000) та якістю вихідних геомагнітних даних, коли магнітні аномалії від конкретних родовища не можуть бути виявлені з об'єктивних причин. Водночас, це може бути зумовлено складною геологічною ситуацією в місцях розташування родовищ, коли «магнітний ефект» не проявляється на фоні ефекту від їх геологічної неоднорідності. Це підтверджується дослідженнями у Дніпровсько-Донецькій западині, де за наявності детального магнітного знімання та карт для газових родовищ виявлено чітку кореляцію з локальними аномаліями геомагнітного поля [Орлюк, Пашкевич, 2011; Орлюк, Друкаренко, 2014; Орлюк и др., 2015а; Orlyuk et al., 2018а]. Таку саму закономірність можна помітити і для Передкарпатського прогину, де Рубахівське газове родовище виділяється слабоінтенсивною магнітною аномалією [Maksymchuk et al., 2020].

У зв'язку з уніфікацією розроблених геомагнітних критеріїв нафтогазоносності земної кори слід звернути увагу на те, що загальна будова літосфери Карпатського регіону України, сформованої на мезопротерозой-неопротерозойському та альпійському етапах її розвитку, яка характеризується наявністю широкого та глибокого прогину земної кори та структур і розломних зон, сформованих зрештою в результаті рифтових

і субдукційно-обдукційних процесів фанерозою, частково подібна до будови Донбаської частини Дніпровсько-Донецького авлакогену. Донбаська складчаста споруда має ширину 100—120 км та глибину у центральній частині до 25 км і характеризується магнітною кристалічною корою у його північно-східній «половині», до якої в осадовому чохла приурочені газові родовища [Орлюк, Пашкевич, 2015; Орлюк и др., 2013, 2015 а; Пашкевич и др., 2018]. При цьому у південно-західній частині Донецької складчастої споруди геотектонічні процеси складкоутворення відбувались активніше, ніж у північно-східній з умовною межею поділу Голловою антиклиналлю [Гринь, 2021].

Насамкінець зупинимося на проблемі зв'язку родовищ вуглеводнів з розломами та розломними зонами. При цьому звернемо увагу на той факт, що, згідно з наведеним вище, спостерігається певна закономірність щодо розташування родовищ вуглеводнів не біля розломів, а поряд з межами геологічних структур і різновікових типів кристалічного фундаменту або зон їх зчленування. Наведені на рисунках геологічні структури та їх межі мають сенс лише в їхньому прояві на земній поверхні, і дуже великими є припущення щодо їх глибинного поширення. Візьмемо для прикладу Передкарпатський прогин і однойменний розлом. Зазвичай на земній поверхні це чітко встановлені структурні елементи, але стосовно їх глибинного положення можуть бути різні варіанти їх поширення та будови, особливо розломів. Зокрема, найбільша потужність осадового чохла характерна не для Передкарпатського прогину, а для Складчастих Карпат, і взагалі прогин консолідованої кори знаходиться під всією Карпатською дугою (див. рис. 7). Згідно з дослідженнями деяких авторів [Berthelsen, 1993; Starostenko et al., 2020], цей прогин утворився раніше Карпатської дуги і пов'язаний з довгоіснуючою ТЄШЗ, яка за геологічними і геомагнітними даними простежується на північний захід і південний схід території України [Пашкевич и др., 1985; Atanasiu et al., 2005 та ін.].

Відповідно, і виділення глибинних розломів і розломних зон має ґрунтуватися на

фізичних і геометричних параметрах блоків земної кори та їх граничних зон. Значні розміри зон горизонтального градієнта геофізичних полів у десятки кілометрів засвідчують, що вони зумовлені геометричними параметрами самого прогину, а не розломами чи розломними зонами. У цьому відношенні пріоритет стосовно виділення розломів і розломних зон можна віддати мінімальним значенням горизонтального градієнта геофізичних полів, які маркують зони максимальних чи мінімальних їх значень, відповідаючи або максимумам насичення речовиною (породами) з підвищеними параметрами намагніченості, густини, швидкості поширення сейсмічних хвиль та ін., або їх мінімальних значень, які можуть спостерігатися внаслідок суттєвої дезінтеграції та трансформації порід у зонах глибинних розломів. У нашому випадку це зона гравітаційного регіонального мінімуму, яка характеризується породами з меншою густиною у верхній частині розрізу земної кори (до 25 км у районі PANCAKE, та 15 км — Ros-UkrSeis) або їх дезінтеграцією та розущільненням у глибинній частині, що супроводжується зниженими швидкостями поширення поздовжніх хвиль, а також підвищеними значеннями намагніченості. Зауважимо, що тільки в минулому році було розроблено більш-менш прийнятну технологію визначення розломно-блокової структури геологічного середовища за даними сейсморозвідки [Гринь, 2021], яку, напевно, буде застосовано надалі і для Карпатського регіону. На сьогодні глибинні розломи за результатами ширококутних сейсмічних досліджень не виділяються, і тому може бути запропоновано їх глибинне розташування тільки на підставі гравімагнітних даних з урахуванням особливостей сейсмічного розрізу. З огляду на це найважливішими розломами Карпатського регіону та крайової частини платформи у першому наближенні можна вважати Великомоствівсько-Чернівецький розлом [Заяць, 2013], який характеризує змінення магнітного та гравітаційного полів [Мончак, Анікеєв, 2017], Рава-Руський, що відображає зону зчленування СЄК та Західноєвропейської платформи, Передкар-

патський — межа Передкарпатського прогину та Складчастих Карпат на земній поверхні (у першому наближенні архей(?)—палеопротерозойської та мезо-неопротерозойської кори у глибинному вимірі [Кутас и др., 1996]), а також Закарпатський розлом, який відтіняє сильно диференційовані магнітне та гравітаційне поля Закарпатського прогину (див. рис. 7). Автори схиляються до думки про суттєве розширення зони цих глибинних розломів з глибиною [Starostenko et al., 2022]. На рис. 5—7 показано їх гіпотетичне глибинне положення на підставі магнітних і сейсмічних даних та можливий зв'язок з ними потоків вуглеводнів у верхню частину розрізу земної кори.

Висновки. Вперше для території Карпатського регіону виконано якісний та кількісний аналіз геомагнітного поля стосовно нафтогазоносності земної кори. Виявлено зв'язок нафтових, нафтоконденсатних, нафтогазових і газових родовищ з намагніченістю земної кори на регіональному й локальному рівнях та з особливостями глибинної будови земної кори за сейсмічними даними. Запропоновані геомагнітні критерії нафтогазоносності земної кори підтверджуються закономірним розташуванням родовищ вуглеводнів, які пов'язані з регіональними та локальними аномаліями гравітаційного поля та густини теплового потоку. Узагальнено основні результати дослідження.

1. Розроблено карту геомагнітного поля та його трансформант, а також магнітні моделі вздовж геотраверсів PANCAKE та Rom-UkrSeis, згідно з якими родовища вуглеводнів контролюються насамперед регіональними особливостями геомагнітного поля та значеннями його горизонтального градієнта, а саме: газові родовища розташовуються над магнітними блоками середньої та нижньої частин земної кори або в їх крайових частинах, а нафтові — над практично немагнітними глибинними блоками.

2. Показано, що під насувною частиною Карпатської дуги чітко проявляються регіональні особливості структур земної кори. Починаючи з довготи м. Рахів переважає субмеридіональне простягання регіональних аномалій магнітного, гравітаційного та

теплового полів і зон їх горизонтального градієнта. З цим добре узгоджується нафтогазоносність регіону, а саме газові родовища приурочені до відносно мінімальних значень регіонального горизонтального градієнта магнітного поля, підвищеного градієнта аномалій Буге, особливо у південно-східній частині території, а також мінімальних значень горизонтального градієнта аномалій густини теплового потоку.

У локальних геофізичних полях газові родовища тяжіють до слабонегативних магнітних аномалій та їх градієнтних зон, до позитивних та негативних аномалій гравітаційного поля, а також спостерігається узгоджене розташування газових родовищ щодо позитивних аномалій густини теплового потоку на північному заході, в межах ТЄШЗ і негативних аномалій у межах Передкарпатського прогину. Нафтові та нафтоконденсатні родовища корелюються зі смугою позитивних аномалій магнітного поля, негативних аномалій гравітаційного поля та підвищеними значеннями густини теплового потоку.

4. Основними глибинними розломами Карпатського регіону та крайової частини платформи у першому наближенні можна вважати Великомоствівсько-Чернівецький, Рава-Руський, Передкарпатський і Закарпатський розломи. На підставі магнітних і сейсмічних даних запропоновано гіпотетичне глибинне положення цих розломів та можливий зв'язок з ними потоків вуглеводнів у верхню частину розрізу земної кори.

5. Геомагнітні критерії нафтогазоносності земної кори Карпатського регіону узгоджуються з результатами дослідження гравітаційного поля та аномалій густини теплового потоку, що дає змогу прогнозувати у першому наближенні поширення нафтових і нафтоконденсатних та газових і газоконденсатних родовищ за регіональними та локальними особливостями цих полів.

Подяки. Дане дослідження виконано в рамках бюджетних тем 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) та №: П-16-20 «Геодинамічний розвиток Українських Карпат та формування родовищ корисних копалин за результатами новітніх геолого-геофізичних даних», II етап: «Геодинамічний розвиток літосфери та фор-

мування родовищ корисних копалин в межах Українських Карпат» (2021—2022). Автори вдячні професору, член-кореспонденту НАН України О.Б. Гінтову за слушні зауваження, врахування яких значно покращило зміст статті.

Список літератури

- Атлас родовищ нафти і газу України. Т. 4, 5. Західний нафтогазоносний регіон України. Гол. ред. М.М. Іванюта. Львів: Центр Європи, 1998. 710 с.
- Галушкин Ю.И., Кутас Р.И. Днепровско-Донецкий палеорифт: эволюция теплового режима и нефтегазоносность. *Геофиз. журн.* 1995. Т. 17. № 3. С. 13—24.
- Гинтов О.Б., Егорова Т.П., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Муровская А.В. Геодинамические особенности зоны сочленения Евразийской плиты и Альпийско-Гималайского пояса в пределах Украины и прилегающих территорий. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 5. С. 26—63. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i5.2014.111568>.
- Гнилко О.М. Тектонічне районування Карпат у світлі терейнової тектоніки. Частина 1. Основні елементи карпатської споруди. *Геодинаміка*. 2011. Т. 10. № 1. С. 47—57.
- Гринь Д.М. Метод визначення розломно-блокової структури геологічного середовища за даними сейсморозвідки: *автореф. дис. ... г-ра фіз.-мат. наук*. Київ, 2021. 44 с.
- Ентин В.А., Гуськов С.И., Орлюк М.И., Гинтов О.Б., Осьмак Р.В. Карта абсолютных значений поля силы тяжести Украины и некоторые аспекты ее возможной интерпретации. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 1. С. 53—61. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111323>.
- Заяць Х.Б. Глибинна будова надр Західного регіону України на основі сейсмічних досліджень і напрямки пошукових робіт на нафту і газ. Львів: Центр Європи, 2013. 80 с.
- Крупський Ю.З. *Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України*. Київ: Видавничий центр УкрДГРІ, 2001. 143 с.
- Кутас Р.І. Глибинна дегазація і нафтогазоносність Східних (Українських) Карпат: геодинамічний і геотермічний аспекти. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 6. С. 23—41. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251551>.
- Кутас Р.И., Красовский С.С., Орлюк М.И., Пашкевич И.К. Модель глубинного строения и тектонического развития литосферы запада Украины. *Геофиз. журн.* 1996. Т. 18. № 6. С. 18—29.
- Кутас Р.И., Орлюк М.И., Пашкевич И.К., Бурахович Т.К., Макаренко И.Б., Бугаенко И.В. Глубинное строение территории Украины по современным геофизическим данным. Общие сведения. В кн.: *Очерки геодинамики Украины*. Ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтов. Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018. С. 17—24.
- Мончак Л., Анікеєв С. Відображення тектонічної будови Західного регіону України у гравімагнітних полях. *Геодинаміка*. 2017. № 2(23). С. 104—118.
- Орлюк М.И. Магнитная модель земной коры Вольно-Подольской окраины Восточно-Европейской платформы и петролого-тектоническая интерпретация. В кн.: *Исследование региональных магнитных аномалий платформенных областей*. Отв. ред. З.А. Крутиховская. Киев: Наук. думка, 1984. С. 152—162.

- Орлюк М.І. Нафтогазоносність земної кори України у зв'язку з її намагніченістю. *Нафтова і газова промисловість*. 1994. № 3. С. 16—19.
- Орлюк М.І. Связь аномального магнитного поля со строением земной коры Вольно-Подольской плиты. В кн.: *Исследование геомагнитного поля и палеомагнетизма*. Отв. ред. З.А. Крутиховская. Киев: Наук. думка, 1983. с. 30—40.
- Орлюк М., Бешуцьо Л., Роменець А., Злагнан Л., Бакаржієва М., Атанасіу Л., Марченко А., Макаренко І. Магнітна модель зони зчленування східних карпат та східноєвропейського кратону в районі геотрансекту «RomUkrSeis». В кн.: *Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища*. Ред. В.Ю. Максимчук. Львів: Растр-7, 2021. С. 171—174.
- Орлюк М.І., Друкаренко В.В. Теоретические и экспериментальные обоснования глубинной нефтегазоносности земной коры по геомагнитным данным. *Глубинная нефть*. 2014. Т. 2. № 8. С. 1245—1258.
- Орлюк М.І., Лебедь Т.В., Марченко А.В., Роменець А.А., Бакаржієва М.І. Магнитные модели земной коры вдоль профилей ГСЗ 25, ГСЗ 28 и ГСЗ 29 (в связи с исследованием переходной зоны от Восточно-Европейской платформы к Черноморской мегавпадине). *Геодинаміка*. 2013. № 2(15). С. 259—262.
- Орлюк М.І., Марченко А.В., Бакаржієва М.І., Роменець А.О. 3D магнітні моделі і їх використання при розрахунку компонент магнітного поля Землі. *Матеріали XI Міжнар. наук. конф. «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища»*, Київ, 11—14 жовтня 2017 р. CD-ROM, 5 с.
- Орлюк М.І., Пашкевич И.К. Магнитная характеристика и разломная тектоника земной коры Шебелинской группы газовых месторождений как составная часть комплексных поисковых критериев углеводородов. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 6. С. 136—151. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i6.2011.116799>.
- Орлюк М.І., Пашкевич И.К. Некоторые аспекты взаимосвязи нефтегазоносности земной коры Украины с ее намагніченістю. *Геофиз. журн.* 1996. Т. 18. № 1. С. 45—51.
- Орлюк М.І., Пашкевич И.К., Бурахович Т.К., Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Цветкова Т.А. Глубинное строение территории Украины по современным геофизическим данным. *Украинский щит*. В кн.: *Очерки геодинамики Украины*. Отв. ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтов. Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018. С. 24—36.
- Орлюк М.І., Пашкевич И.К., Лебедь Т.В. Магнитная модель земной коры. В кн.: *Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепроовско-Донецкой впадины*. Отв. ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтов. Киев: Галактика, 2015а. С. 59—71.
- Орлюк М.І., Роменець А.А., Марченко А.В., Орлюк И.М., Иващенко И.Н. Магнитное склонение на территории Украины: результаты наблюдений и вычислений. *Геофиз. журн.* 2015б. Т. 37. № 2. С. 73—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i2.2015.111307>.
- Пашкевич И.К., Кутовая, А.П., Орлюк М.І. К вопросу о юго-западном крае Восточно-Европейской платформы. *Геофиз. журн.* 1985. Т. 6. № 5. С. 74—82.
- Пашкевич И.К., Орлюк М.І., Марченко А.В., Роменець А.А., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В. О возможной мантийной природе длинноволновой Центрально-Европейской магнитной аномалии. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 6. С. 100—130. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210670>.
- Пашкевич И.К., Русаков О.М., Кутас Р.И., Гринь Д.Н., Старостенко В.И., Яник Т. Строение

- литосферы по комплексному анализу геолого-геофизических данных вдоль профиля DOBREFraction'99/DOBRE-2 (Восточно-Европейская платформа — Восточно-Черноморская впадина). *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 5. С. 98—136. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147476>.
- Трегубенко В.І., Максимчук В.Ю., Орлюк М.І., Мясоедов В.П., Марченко Д.О., Роменець А.О. Компоненти магнітного поля Землі на території України для епохи 2010 р. за результатами вимірювання у пунктах вікового ходу. *Мінеральні ресурси України.* 2013. № 3. С. 37—40.
- Шеремета П.М., Слоницкая С.Г., Трегубенко В.І., Ладженський Ю.М., Назаревич А.В., Назаревич Л.С., Хавензон І.В., Левкович Ю.М. О коллизии Западно-Европейской микроплиты и Восточно-Европейской плиты в западном регионе Украины по новым данным региональных геофизических исследований и перспективах нефтегазоносности. *Геодинаміка.* 2011. № 2(11). С. 341—343.
- Atanasiu, L., Mandeau, M., Zugrăvescu, D., & Roharik, M. (2005). Trans-European suture zone over the Romanian territory in the light of new satellite data. *Revue Roumaine de Géophysique*, 49, 49—61.
- Berthelsen, A. (1993). Where different geological philosophies meet: the Trans-European Suture Zone. *Publications of the Institute of Geophysics, A*, (20), 19—31.
- Beșutiu, L., Orlyuk, M., Zlagnean, L., Romanets, A., Atanasiu, L., & Makarenko, I. (2015). Cross-border geophysical and geological models between Romania and Ukraine in the low Danube area. *8th EUREGEO Conference, Barcelona, Catalonia, Spain, June 15—17 2015*.
- Beșutiu, L., Pashkevich, I., Orlyuk, M., Beșutiu, G., Neaga, V., & Ivan, M. (2000). MAGLODAN Project: The first step in merging the national geomagnetic maps of Romania, Ukraine and Republic of Moldova. *Journal of Balkan Geophysical Society*, 3(3), 45—52.
- Beșutiu, L., Zlagnean, L., & Atanasiu, L. (2012). The geomagnetic mapping of the Romanian Territory in the context of WDMAM Project. *7th EURGEO, Bologna, Italy, 12—15 June 2012*.
- Beșutiu, L., Orlyuk, M., Demetrescu, C., Pashkevich, I., Atanasiu, L., Maksymchuk, V., & Zlagnean, L. (2006). Consistent geomagnetic images crossover the state borders between Romania and Ukraine. *Геофиз. журн.*, 28(3), 78—87.
- Bogdanova, S.V., Gorbatshev, R., & Garetsky, R.G. (2016). Europe | east European craton. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (pp. 34—49). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10020-X>.
- Geosoft Oasis Montaj. (2022). Retrived from <https://www.seequent.com/help-support/oasis-montaj>.
- Grad M., (2019). Podolian, Saxonian and baltic plates — Teisseyre—Tornquist Line and the edge of the East European Craton. *Geochemistry*, 79(3), 422—433. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2019.03.002>.
- Gradstein, F., & Ogg, J. (2020). The chronostratigraphic scale. In *Geologic time scale 2020* (pp. 21—32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824360-2.00002-4>.
- Krutikhovskaya, Z.A., Pashkevich, I.K., Karataev, G.I., Apirubite, R.A., Dankevich, I.V., & Orliuk, M.I. (1981). The investigation of regional magnetic anomalies in the south-west of the East-European platform. In *Aktuelle Probleme der geomagnetischen Forschung* (pp. 45—58). Potsdam.
- Maksymchuk, V., Kuderavets, R., Menshov, O., Bodlak, P., Chobotok, I., Nakalov, Y., & Pyrizhok, N., (2020). Geomagnetic studies at Rubaniv gas field in outer zone of Carpathian Foredeep, Ukraine. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, European Association of Geoscientists & Engineers*, 1 (pp. 1—5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo027>.

- Milano, M., Fedi, M., & Fairhead, J.D. (2019). Joint analysis of the magnetic field and total gradient intensity in central Europe. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 10(3), 697—712. <https://doi.org/10.5194/se-10-697-2019>.
- Orlyuk, M., Marchenko, A., & Bakarjieva, M. (2017). 3D magnetic model of the Earth's crust of the Eastern European Craton with the account of the Earth's sphericity and its tectonic interpretation. *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія*. № 4(79). С. 33—41. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.03>.
- Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V., Onyshchuk, I.I., & Solodkyi, I.V. (2018a). The association of physical properties of deep reservoirs with geomagnetic field and fault-block tectonics in the Glyns'ko-Solokhivs'kiy oil-and-gas region. *Геодинаміка*. № 2(25). С. 71—88. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.071>
- Orlyuk, M.I., Marchenko, A.V., Bakarjieva, M.I. (2021). Geomagnetic field of the western region of Ukraine in connection with the fracture-block tectonics and hydrocarbon deposits. *XXth International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects. 11—14 May 2021, Kiev, Ukraine. Paper 21067_ENG. Conference CD-ROM Proceedings* (pp. 186—192). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521067>.
- Orlyuk, M., Marchenko, A., Romenets A., & Bakarjieva M. (2018b). Ukrainian Regional Magnetic Map: the results of calculations of the geomagnetic field components for the Epoch 2015. *COBS Journal*, (Special Issue No 5), P. 40.
- Starostenko, V.I., Murovskaya, A.V., Yegorova, T.P., Gintov, O.B., & Amashukeli, T.A., (2022). The relationship of the oil-and-gas fields of the Forecarpathian region with the regional faults system and deep structure. *Геофиз. журн.* Т. 44. № 1. С. 111—123. <https://doi.org/10.24028/gzh.v44i1.253713>.
- Starostenko, V., Janik, T., Kolomiyets, K., Czuba, W., Środa, P., Grad, M., Kováč, I., Stephenson, R., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I.M., Omelchenko, V., Gintov, O., Kutas, R., Gryn, D., Guterch, A., Hegedús, E., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., & Tolkunov, A. (2013). Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 608, 1049—1072. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>.
- Starostenko, V., Janik, T., Mocanu, V., Stephenson, R., Yegorova, T., Amashukeli, T., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Okoń J., Dragut A., Omelchenko V., Legostaieva O., Gryn D., Mechie J., & Tolkunov A. (2020). RomUkrSeis: Seismic model of the crust and upper mantle across the Eastern Carpathians — From the Apuseni Mountains to the Ukrainian Shield. *Tectonophysics*, 794, 228620. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228620>.

Magnetic characteristics and tectonic structure of the Earth's crust of the Carpathian oil-and-gas region as a component of complex hydrocarbon criteria

M.I. Orlyuk, M.I. Bakarjieva, A.V. Marchenko, 2022

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

For the first time, a qualitative and quantitative analysis of the geomagnetic field and oil-and-gas capacity was performed for the territory of the Carpathian region, which made it possible to reveal the connection of hydrocarbon deposits with the magnetization of the Earth's crust at the regional and local levels and the features of the deep structure of the Earth's crust according to seismic data. The regularity of the distribution of oil-and-gas deposits of the Carpathian oil-and-gas-bearing region revealed by geomagnetic criteria is confirmed by their connection with regional and local anomalies of the gravity field and heat flow density. According to the analysis of the regional geomagnetic field and magnetic models along the PANCAKE and RomUkrSeis geotraverses, gas fields are located above the magnetic blocks of the middle and lower parts of the Earth's crust or in their marginal parts, and oil fields are located above practically non-magnetic deep blocks. Under the thrust part of the Carpathian arc, the regional features of the Earth's crust structures are clearly manifested, namely, starting from the longitude of the city of Rakhiv, the submeridional direction of extension of regional anomalies of magnetic, gravity, and thermal fields and their horizontal gradient zones prevails. The oil-and-gas potential of the region is in good agreement with this — the gas fields are timed to the minimum values of the regional horizontal gradient of the regional magnetic field, to the increased gradient of Bouguet anomalies, as well as to the minimum values of the horizontal gradient of heat flow density anomalies. In local geophysical fields, gas fields are gravitating: to weakly negative magnetic anomalies and their gradient zones; to negative anomalies of the gravitational field predominantly; to positive anomalies of heat flow density in the northwest, within the area of Trans-European suture zone (without the middle of the Krakovets fault), and negative anomalies in the Carpathian trough. Oil-and-oil condensate deposits are correlated with a band of positive magnetic field anomalies, negative gravity field anomalies, and increased heat flux density values. The main deep faults of the Carpathian region and the marginal part of the Platform in the first approximation can be considered Velikomostivsko-Chernivetsky, which characterizes the change in the character of magnetic and gravity fields and heat flow density, Rava-Rusky, which reflects the zone of articulation of the Eastern and Western European platforms, Pre-Carpathian — the border of the Pre-Carpathian trough and the Folded Carpathians on the Earth's surface (as well as the boundary of the Archaean(?) - Paleoproterozoic and Meso-Neoproterozoic crust according to the modern international chronostratigraphic scale), as well as the Transcarpathian fault. On the basis of magnetic and seismic data, the hypothetical depth position of these faults and the possible connection with them of hydrocarbon flows into the upper part of the Earth's crust are proposed. Therefore, the geomagnetic criteria of the oil-and-gas-bearing capacity of the Earth's crust of the Carpathian region are agreed based on the results of the study of the gravity field and heat flow density anomalies, which makes it possible to predict the spread of oil and oil condensate and gas and gas condensate deposits according to the regional and local features of these fields in a first approximation.

Key words: geomagnetic field, gravity field, heat flow, magnetic model, deep structure, oil-and-gas capacity, hydrocarbon deposits, Carpathian orogen, PANCAKE, RomUkrSeis profiles.

References

- Ivaniuta, M.M. (Ed.). (1998). *Atlas of Oil-and-Gas Fields of Ukraine*. Vol. 4, 5 Lviv: Tsentr Yevropy, 710 p. (in Ukrainian).
- Galushkin, Yu.I., & Kutas, R.I. (1995). The Dnipro-Donetsk paleorift: evolution of the thermal regime and oil-and-gas productivity. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 17(3), 13—24 (in Russian).
- Gintov, O.B., Yegorova, T.P., Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Murovskaya, A.V., (2014). Geodynamic features of the joint zone of the Eurasian plate and the Alpine-Himalayan belt within the limits of Ukraine and adjacent territories. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 36(5), 26—63. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i5.2014.111568> (in Russian).
- Hnylko, O.M., (2011). Tectonic zoning of the Carpathians in terms of terrane tectonics. Part 1. The main elements of the Carpathian structure. *Heodynamika*, 10(1), 47—57 (in Ukrainian).
- Gryn, D.M. (2021). Method for determining the fault-block structure of the geological environment according to seismic data. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv, 44 p. (in Ukrainian).
- Entin, V.A., Guskov, S.I., Orlyuk, M.I., Gintov, O.B., & Osmak, R.V. (2015). A map of absolute values for gravity fields of Ukraine and some aspects of its possible interpretations. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 37(1), 58—65. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111323> (in Russian).
- Zayats, H.B. (2013). *Deep structure of the subsoil Western Ukraine from seismic surveys and prospecting areas for oil-and-gas*. Lviv: Tsentr Yevropy, 80 p. (in Ukrainian).
- Krupskiy, Yu.Z. (2001). *Geodynamic conditions of formation and oil-and-gas potential of the Carpathian and Volyn-Podilskiy regions of Ukraine*. Kyiv: Vydavnychiy tsentr UkrDHRI, 143 p. (in Ukrainian).
- Kutas, R.I. (2021). Deep degasation and oil-and-gas containment of the Eastern (Ukrainian) Carpathians: geodynamic and geothermal aspects. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 43(6), 23—41. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i6.251551> (in Ukrainian).
- Kutas, R.I., Krasovskiy, S.S., Orlyuk, M.I., & Pashkevich, I.K. (1996). Model of the deep structure and tectonic development of the lithosphere of the west of Ukraine. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 18(6), 18—29 (in Russian).
- Kutas, R.I., Orlyuk, M.I., Pashkevich, I.K., Burakhovich, T.K., Makarenko, I.B., & Bugaenko, I.V. (2018). Deep structure the territory of Ukraine according to modern geophysical data. General information. In: V.I. Starostenko, O.B. Gintov (Eds.), *Geodynamics of Ukraine* (pp. 17—24). Kyiv: VI EN EY (in Russian).
- Monchak, L., & Anikeev, S. (2017). Reflection of the tectonic structure of the Western region of Ukraine in gravimagnetic fields. *Heodynamika*, (2), 104—118 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I. (1984). Magnetic model of the Earth's crust Volyn-Podolsk margin of the East European platform and petrological-tectonic interpretation. In Z.A. Krutikhovskaya (Ed.), *Investigation of regional magnetic anomalies of platform areas* (pp. 152—162). Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Orlyuk, M.I. (1994). Oil-and-gas content of the Earth's crust of Ukraine in connection with its magnetization. *Naftova i hazova promyslovisht*, (3), 16—19 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I. (1983). Relationship between the anomaly magnetic field and the structure of the Earth's crust the Volyn-Podolsk plate. In Z.A. Krutikhovskaya (Ed.), *Geomagnetic Field and Paleomagnetism Research* (pp. 30—40). Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Orlyuk, M., Beşutiu, L., Romenets, A., Zlagnean, L., Bakarzhieva, M., Athanasiu, L., Marchenko, A., & Makarenko, I. (2021). Magnetic model of the joint zone of the Eastern Carpathians and the Eastern European craton in the area of the Rom-UkrSeis geotranssect. In V. Yu. Maksymchuk (Ed.), *Geophysics and Geodynamics: Prediction and Monitoring of Geological Medium* (pp. 171—174). Lviv: Rastr-7 (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., & Drukarenko, V.V. (2014). Theoretical and experimental substantiations of the deep oil-and-gas content of the Earth's crust according to geomagnetic data. *Glubinnaya neft*, 2(8), 1245—1258 (in Russian).

- Orlyuk, M.I., Lebed, T.V., Marchenko, A.V., Romanets, A.A., & Bakarzhieva, M.I. (2013). Magnetic models of the Earth's crust along the profiles DSS 25, DSZ 28 and GSS 29 (in connection with the study of the transition zone from the East European Platform to the Black Sea megadepression. *Heodynamika*, (2), 259—262 (in Russian).
- Orlyuk, M.I., Marchenko, A.V., Bakarzhieva, M.I., & Romanets, A.O. (2017). 3D magnetic models for calculating the components of the Earth's magnetic field. *Proc. of the XIth International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Kyiv, 11—14 October 2017, Ukraine. CD-ROM, 5 p. (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., & Pashkevich, I.K. (2011). Magnetic characteristics and fault tectonics of the earth's crust of the Shebelina group of gas fields as a component of the complex search criteria of hydrocarbons. *Geofizicheskij Zhurnal*, 33(6), 136—151. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i6.2011.116799> (in Russian).
- Orlyuk, M.I., & Pashkevich, I.K. (1996). Some aspects of the relationship between the oil-and-gas content of the Earth's crust of Ukraine and its magnetization. *Geofizicheskij Zhurnal*, 18(1), 45—51 (in Russian).
- Orlyuk, M.I., Pashkevich, I.K., Burakhovich, T.K., Kuprienko, P.Ya., Makarenko, I.B., & Tsvetkova, T.A. (2018). Deep structure the territory of Ukraine according modern geophysical data. Ukrainian Shield. In V.I. Starostenko, O.B. Gintov (Eds.), *Geodynamics of Ukraine* (pp. 24—36). Kyiv: VI EN EY (in Russian).
- Orlyuk, M.I., Pashkevich, I.K., & Lebed, T.V. (2015a). Magnetic model of the Earth's crust. In V.I. Starostenko, O.B. Gintov (Eds.), *Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donetsk depression* (pp. 59—71). Kiev: Galaktika (in Russian).
- Orlyuk, M.I., Romanets, A.A., Marchenko, A.V., Orlyuk, I.M., & Ivashchenko, I.N. (2015b). Magnetic declination of the territory of Ukraine: the results of observations and calculations. *Geofizicheskij Zhurnal*, 37(2), 73—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i2.2015.111307> (in Russian).
- Pashkevich, I.K., Kutovaya, A.P., & Orlyuk, M.I. (1985). On issue of the southwestern border of East European Platform. *Geofizicheskij Zhurnal*, 6(5), 74—82 (in Russian).
- Pashkevich, I.K., Orlyuk, M.I., Marchenko, A.V., Romanets, A.A., Tsvetkova, T.A., & Bugaenko, I.V. (2020). On the possible mantle nature of the long-wave Central-European magnetic anomaly. *Geofizicheskij Zhurnal*, 42(6), 100—130. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i6.2020.210670> (in Russian).
- Pashkevich, I.K., Rusakov, O.M., Kutas, R.I., Gryn, D.N., Starostenko, V.I., & Yanik, T. (2018). Lithospheric structure based on integrated analysis of geological-geophysical data along the DOBRE fraction '99/DOBRE-2 profile (the East European Platform—the East Black Sea Basin). *Geofizicheskij Zhurnal*, 40(5), 98—136. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147476> (in Russian).
- Tregubenko, V.I., Maksymchuk, V.Yu., Orlyuk, M.I., Myasoyedov, V.P., Marchenko, D.O., & Romanets, A.O. (2013). Components of the Earth's magnetic field on the territory of Ukraine for the era of 2010 according to the results of measurement at the points of the age course. *Mineralni resursy Ukrainy*, (3), 37—40 (in Ukrainian).
- Sheremeta, P.M., Slonitskaya, S.G., Tregubenko, V.I., Ladizhensky, Yu.M., Nazarevich, A.V., Nazarevich, L.E., Khavenzon, I.V., & Levkovich, Yu.M. (2011). On the collision of the West European microplate and the East European plate in the western region of Ukraine according to new data from regional geophysical studies and the prospects for oil-and-gas potential. *Heodynamika*, (2), 341—343 (in Russian).
- Atanasiu, L., Manda, M., Zugrăvescu, D., & Roharik, M. (2005). Trans-European suture zone over the Romanian territory in the light of new satellite data. *Revue Roumaine de Géophysique*, 49, 49—61.
- Berthelsen, A. (1993). Where different geological philosophies meet: the Trans-European Suture Zone. *Publications of the Institute of Geophysics*, A, (20), 19—31.
- Beșutiu, L., Orlyuk, M., Zlagnean, L., Romanets, A., Atanasiu, L., & Makarenko, I. (2015). Cross-

- border geophysical and geological models between Romania and Ukraine in the low Danube area. *8th EUREGEO Conference, Barcelona, Catalonia, Spain, June 15—17 2015*.
- Beșutiu, L., Pashkevich, I., Orlyuk, M., Beșutiu, G., Neaga, V., & Ivan, M. (2000). MAGLODAN Project: The first step in merging the national geomagnetic maps of Romania, Ukraine and Republic of Moldova. *Journal of Balkan Geophysical Society*, 3(3), 45—52.
- Beșutiu, L., Zlagnean, L., & Atanasiu, L. (2012). The geomagnetic mapping of the Romanian Territory in the context of WDMAM Project. *7th EURGEO, Bologna, Italy, 12—15 June 2012*.
- Beșutiu, L., Orlyuk, M., Demetrescu, C., Pashkevich, I., Atanasiu, L., Maksymchuk, V., & Zlagnean, L. (2006). Consistent geomagnetic images crossover the state borders between Romania and Ukraine. *Геофиз. журн.*, 28(3), 78—87.
- Bogdanova, S.V., Gorbatshev, R., & Garetsky, R.G. (2016). Europe| east European craton. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (pp. 34—49). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10020-X>.
- Geosoft Oasis Montaj. (2022). Retrived from <https://www.seequent.com/help-support/oasis-montaj>.
- Grad M., (2019). Podolian, Saxonian and baltic plates — Teisseyre—Tornquist Line and the edge of the East European Craton. *Geochemistry*, 79(3), 422—433. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2019.03.002>.
- Gradstein, F., & Ogg, J. (2020). The chronostratigraphic scale. In *Geologic time scale 2020* (pp. 21—32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824360-2.00002-4>.
- Krutikhovskaya, Z.A., Pashkevich, I.K., Karataev, G.I., Apirubite, R.A., Dankevich, I.V., & Orlyuk, M.I. (1981). The investigation of regional magnetic anomalies in the south-west of the East-European platform. In *Aktuelle Probleme der geomagnetischen Forschung* (pp. 45—58). Potsdam.
- Maksymchuk, V., Kuderavets, R., Menshov, O., Bodlak, P., Chobotok, I., Nakalov, Y., & Pyrizhok, N., (2020). Geomagnetic studies at Rubiniv gas field in outer zone of Carpathian Foredeep, Ukraine. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, European Association of Geoscientists & Engineers*, 1 (pp. 1—5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo027>.
- Milano, M., Fedi, M., & Fairhead, J.D. (2019). Joint analysis of the magnetic field and total gradient intensity in central Europe. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 10(3), 697—712. <https://doi.org/10.5194/se-10-697-2019>.
- Orlyuk, M., Marchenko, A., & Bakarjieva, M., (2017). 3D magnetic model of the Earth's crust of the Eastern European Craton with the account of the Earth's sphericity and its tectonic interpretation. *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія*. № 4(79). С. 33—41. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.03>.
- Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V., Onyshchuk, I.I., & Solodkyi, I.V. (2018a). The association of physical properties of deep reservoirs with geomagnetic field and fault-block tectonics in the Glyns'ko-Solokhivs'kiy oil-and-gas region. *Геодинаміка*. № 2(25). С. 71—88. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.02.071>
- Orlyuk, M.I., Marchenko, A.V., Bakarjieva, M.I. (2021). Geomagnetic field of the western region of Ukraine in connection with the fracture-block tectonics and hydrocarbon deposits. *XXth International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects. 11—14 May 2021, Kiev, Ukraine. Paper 21067_ENG. Conference CD-ROM Proceedings* (pp. 186—192). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521067>.
- Orlyuk, M., Marchenko, A., Romenets A., & Bakarjieva M. (2018b). Ukrainian Regional Magnetic Map: the results of calculations of the geomagnetic field components for the Epoch 2015. *COBS Journal*, (Special Issue No 5), P. 40.
- Starostenko, V.I., Murovskaya, A.V., Yegorova, T.P., Gintov, O.B., & Amashukeli, T.A., (2022). The relationship of the oil-and-gas fields of the Forecarpathian region with the regional faults system and deep structure. *Геофиз. журн.* Т. 44. № 1. С. 111—123. <https://doi.org/10.24028/gzh.v44i1.253713>.
- Starostenko, V., Janik, T., Kolomiyets, K., Czuba, W.,

- Środa, P., Grad, M., Kováč, I., Stephenson, R., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I.M., Omelchenko, V., Gintov, O., Kutas, R., Gryn, D., Guterch, A., Hegedús, E., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., & Tolkunov, A. (2013). Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 608, 1049—1072. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>.
- Starostenko, V., Janik, T., Mocanu, V., Stephenson, R., Yegorova, T., Amashukeli, T., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Kolomiyets K., Lysynchuk D., Okoń J., Dragut A., Omelchenko V., Legostaieva O., Gryn D., Mechie J., & Tolkunov A. (2020). RomUkrSeis: Seismic model of the crust and upper mantle across the Eastern Carpathians — From the Apuseni Mountains to the Ukrainian Shield. *Tectonophysics*, 794, 228620. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228620>.