

Структурно-тектонічні особливості Закарпатського прогину за даними гравімагнітометрії

*В.Ю. Максимчук¹, С.Г. Анікеєв¹, Л.С. Мончак²,
Р.С. Кудеравець¹, Н.Б. Пиріжок¹, 2023*

¹Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна
НАН України, Львів, Україна

²Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна
Надійшла 25 липня 2023 р.

На підставі аналізу та інтерпретації аномалій гравітаційного та магнітного полів досліджено особливості розломної тектоніки, структурно-тектонічної будови, зокрема солянокупольної тектоніки, Закарпатського прогину. Методика досліджень полягає у виявленні ознак прояву глибинних розломів та інших великих структурно-тектонічних елементів в аномаліях гравітаційних і магнітних полів, а також у простеженні цих структурно-тектонічних одиниць на підставі зіставлення морфології, інтенсивності, розмірів та напрямку простягання характерних аномальних зон у гравімагнітних полях з картами тектонічної будови регіону. З використанням сучасних цифрових карт гравітаційного і магнітного полів за допомогою трансформації осереднення та рельєфно-тіньового зображення побудовано карти-схеми локальних гравімагнітних аномалій. У результаті аналізу просторової структури вихідних гравімагнітних полів, їхніх трансформат і структурно-тектонічних карт досліджено відображення в гравімагнітних полях великих тектонічних елементів розломної тектоніки, антиклінальних та солянокупольних структур. На підставі гравімагнітних даних уточнено тектонічну будову Закарпатського прогину, простежено межі тектонічних зон і мікроплит. Виділено зону Закарпатського глибинного розлому як тектонічну зону, що трасується за смугою інтенсивних локальних аномалій гравітаційного поля, яка простягається вздовж Флішових Карпат до межі Мармароського масиву, обмежена високими градієнтами з південного заходу і північного сходу та є відображенням зон Пенінських та Мармароських скель. Зону Закарпатського глибинного розлому розглянуто як шовну зону Внутрішніх і Флішових Карпат. У структурі аномального гравітаційного поля Закарпатського прогину виявлено низку локальних аномалій, пов'язаних із соляними штоками, а також окремі аномалії, за якими прогнозується залягання соленосних відкладів. Підтверджено ефективність застосування гравімагнітних методів у геологічних умовах Закарпатського прогину для виявлення антиклінальних структур, виступів фундаменту, які створюють сприятливі умови для формування пасток нафти і газу в осадових товщах. Інтерпретація аномальних гравімагнітних полів у комплексі з геолого-тектонічними матеріалами є важливою методологічною умовою цілісного процесу пізнання геолого-тектонічної будови земної кори Закарпатського регіону.

Ключові слова: Закарпатський прогин, Закарпатський глибинний розлом, розломна тектоніка, антиклінальні структури, соляні структури, локальні гравітаційні і магнітні аномалії.

Citation: *Maksymchuk, V.Yu., Anikeyev, S.G., Monchak, L.S., Kuderavets, R.S., & Pyrizhok, N.B. (2023). Structural and tectonic features of the Transcarpathian trough according to gravity and magnetic data. Geofizicheskiy Zhurnal, 45(6), 102—126. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i6.293310>.*

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Вступ. Вивчення глибинної будови Українських Карпат геофізичними методами залишається актуальною проблемою вже тривалий час. З Карпатським регіоном пов'язуються перспективи відкриття нових і дорозвідка виявлених раніше нафтогазоносних структур. У зв'язку з цим увагу дослідників привертають зони глибинних розломів, межі блоків земної кори, з якими часто пов'язані крупні родовища нафти і газу. В Українських Карпатах залишаються недостатньо вивченими також піднасувні структури на різних глибинах. Про насувну будову Карпат, Передкарпаття та Закарпаття відомо давно [Субботин, 1955; Глушко, 1968; Доленко и др., 1976; Круглов и др., 1985; Крупський, 2001 та ін.]. Дані щодо будови Карпатського регіону за геологічними, геофізичними та буровими роботами, які наведено у зазначених працях та, зокрема, у монографіях [Маєвський та ін., 2012; Заяць, 2013 та ін.], є підґрунтям пошуку перспективних структур на відносно великих глибинах у складчастих Карпатах і прилеглих прогинах. У зазначених пошуках дуже корисними є дослідження останніх років щодо просторового розподілу покладів нафти і газу у зіставленні із структурою земної кори та регіональними розломами [Starostenko et al., 2022], виявлення зон зниженої швидкості поширення сейсмічних хвиль, що перспективні на вуглеводні, на великих глибинах під Закарпатським прогином [Murovskaya et al., 2023; Макаренко та ін., 2023], комплексний аналіз геодинамічних умов, геотермічного режиму та розподілу нафтових і газових родовищ [Кутас, 2021], а також дослідження можливостей прогнозування піднасувних піднять [Мончак, Анікеєв, 2020, 2022] та перспективних ділянок у межах схилів палеопіднять [Анікеєв, Максимчук, 2019] за розподілом локальних аномалій гравітаційного поля.

Морфологія гравітаційного поля Українських Карпат в основному відображає будову поверхні палеозой-рифейського фундаменту з його мезозойським покриттям, що підтверджено на ділянках з добре вивченою бурінням геологічною будовою.

Зокрема, у межах Передкарпатського прогину геометрія та амплітуда піднятих ділянок фундаменту добре корелюють з позитивними аномаліями гравітаційного поля [Анікеєв та ін., 2019; Мончак, Анікеєв, 2020, 2022].

У аномальному магнітному полі західно-го регіону України відображені передусім структури Східноєвропейської платформи. Стосовно Українських Карпат поширена думка, що аномальне магнітне поле тут слабодиференційоване та малоінформативне [Круглов и др., 1985; Тектоника..., 1986]. Однак, як показано у нещодавній публікації М.І. Орлюка і співавторів [Орлюк та ін., 2022] у межах Українських Карпат існує зв'язок нафтогазоносності з намагніченістю земної кори на регіональному і локальному рівнях та з особливостями глибинної будови земної кори. Це засвідчує, що можливості магнітометрії для вирішення геологічних завдань у регіоні далеко не вичерпані. Зокрема, використання магніторозвідки у Зовнішній зоні Передкарпатського прогину дало змогу виділити у структурі аномального магнітного поля за локальними морфологічними і амплітудно-частотними характеристиками низку ознак, які можуть бути додатковими критеріями наявності пасток і покладів вуглеводнів [Menshov et al., 2015; Maksymchuk et al., 2020]. Крім того, в результаті досліджень динаміки магнітного поля шляхом проведення повторних вимірів через певний період часу у структурі магнітного поля можна виділити ознаки наявності геодинамічно активних розривних порушень, з якими часто пов'язані тектонічно-екрановані пастки вуглеводнів [Kuderavets et al., 2019].

Досвід вивчення структурно-тектонічної будови Карпатського регіону показав, що сейсмічними роботами не завжди вдається вірогідно визначити простягання глибинних розломів, віднайти склепінні частини структур через слабку простежуваність горизонтів відбиття у кайнозой-мезозой-палеозойських комплексах порід. Деколи пошукове і параметричне буріння малоуспішне через їхнє розміщення за межами

прогнозованих підняття. Тому актуальними є розвиток і впровадження у практику додаткових методів прогнозу структурно-тектонічних елементів, зокрема, у межах Закарпатського прогину. Інтерес до тектоники Закарпатського прогину пов'язаний також з тим, що вивчення субдукційних процесів, геологічної будови і еволюції Карпат розробляється в останні десятиліття з позиції терейнової тектоники [Csontos, Vörös, 2004; Гнилко, 2011, 2017; Chorowicz, 2016 та ін.]. Згідно з цією моделлю на території Внутрішніх Карпат виділено два мегаблоки Алькапа і Тися-Дакія, які відіграли вирішальну роль при формуванні насувних споруд Флішових Карпат під час зближення цих терейнів зі Східноєвропейською платформою. Вочевидь, тут вагомими можуть бути результати геологічної інтерпретації високоточних гравімагнітометричних матеріалів.

Мета статті — дослідження розломної тектоники, структурно-тектонічної будови, у тому числі солянокупольної тектоники, а також прогнозування антиклінальних підняття за ознаками їхнього прояву у морфології аномальних гравітаційного і магнітного полів у межах Закарпатського прогину.

Вихідні дані та методика досліджень.

Для вивчення елементів структурно-тектонічної будови Закарпатського прогину як вихідні дані використано новітні карти аномалій поля сили тяжіння в редукції Буге [Схема ..., 2002] та аномального магнітного поля [Карта ..., 2002], структурно-тектонічні карти [Тектоническая ..., 1986; Структурно-тектонічна ..., 1991; Державна ..., 2003, 2009 та ін.], а також матеріали інших геолого-геофізичних досліджень у Карпатському регіоні.

Методика досліджень полягає у виявленні ознак прояву глибинних розломів та інших великих структурно-тектонічних елементів в аномаліях гравітаційних і магнітних полів, а також у простеженні простягання цих структурно-тектонічних одиниць на підставі зіставлення морфології, інтенсивності, розмірів і напрямку простягання характерних локальних аномальних

зон у гравімагнітних полях з картами тектонічної будови регіону.

Досліджено локальні аномалії гравімагнітних полів, які виокремлені із вихідних спостережених полів шляхом віднімання регіонального фону. За регіональний фон прийнято трансформанту осереднення з радіусами вікна 10000 та 2500 м. За даними буріння та геофізичних досліджень максимальна глибина залягання покрівлі мезозой-палеозойських порід у Закарпатському прогині не перевищує 2000—4000 м [Доленко и др., 1976; Біліченко, 1999 та ін.]. Відповідно до властивостей трансформації осереднення [Анікеєв та ін., 2019], за обраними розмірами вікна цієї трансформації за першим варіантом у різницевому полі (вихідне поле мінус осереднене) будуть отримані локальні аномалії, що зумовлені переважно глибинною розломною тектонікою та рельєфом поверхні фундаменту, за другим варіантом — локальні аномалії, що пов'язані насамперед з будовою осадового чохла та, ймовірно, деталями поверхні фундаменту.

За результатами інтерпретації аномальних гравімагнітних полів складаються схеми розломної тектоники та прогнозних структур [Анікеєв, Максимчук, 2019; Анікеєв та ін., 2019; Біліченко, 1999; Маєвський та ін., 2012; Мончак, Анікеєв, 2017; Орлюк та ін., 2022 та ін.]. Інструментами якісної геологічної інтерпретації гравітаційних і магнітних матеріалів є способи комп'ютерної візуалізації та трансформації потенціальних полів.

Як вихідну тектонічну модель району досліджень нами використано тектонічну карту Закарпатського прогину та прилеглих територій [Тектоническая..., 1986]. Закарпатський прогин, Вигорлат-Гутинська гряда (пасмо) та частина Паннонського басейну (неогенові депресії) є основними тектонічними елементами Внутрішніх Українських Карпат (рис. 1).

Найбільш дискусійними донині є внутрішня будова Закарпатського глибинного розлому та його місцерозташування. Він є складною великою структурно-тектонічною одиницею земної кори, яка роз-

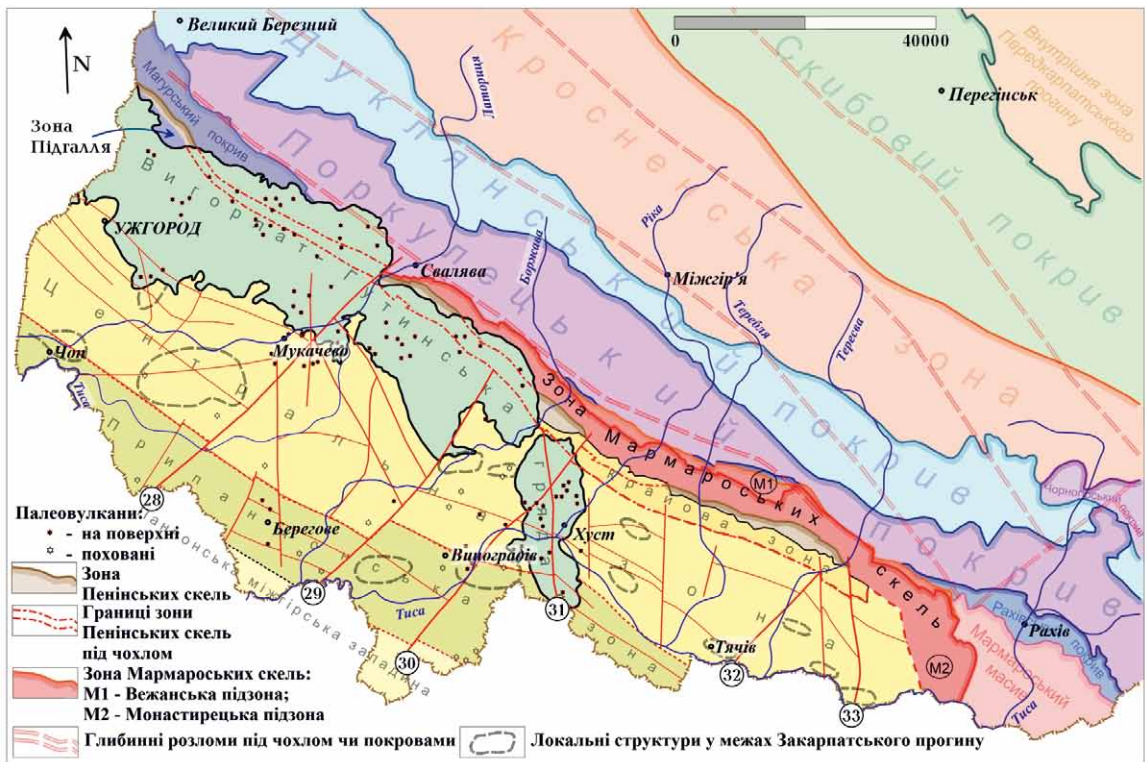


Рис. 1. Тектонічна карта Закарпатського прогину та прилеглої частини Складчастих Карпат (фрагмент карти [Тектоническая ..., 1986]). Основні поперечні розломи (нумерація оригінальної карти): 28 — Мукачівський, 29 — Боржавський, 30 — Виноградівський, 31 — Оашський, 32 — Тересвянський, 33 — Солотвинський.

Fig. 1. Tectonic map of the Transcarpathian trough and the adjacent part of the Folded Carpathians (map fragment [Glushko, Kruglov, 1986]). Main transverse faults (numbering of the original map): 28 — Mukachivskiy, 29 — Borzhavskiy, 30 — Vynogradivskiy, 31 — Oashskiy, 32 — Teresvyanskiy, 33 — Solotvynskiy.

межовує Зовнішні (Флішові) та Внутрішні Українські Карпати. Розлом, як вважають багато дослідників [Тектоника..., 1986; Круглов, 1998 та ін.], на поверхні представлений Мармароськими і Пенінськими скелями. За розломом під Карпатською спорудою товщина земної кори істотно зростає (на 10 000 м і більше), що для української частини Зовнішніх Карпат підтверджується результатами сейсмічних та гравіметричних досліджень уздовж геотраверсу-II [Заяц и др., 1987; Старостенко и др., 1987], РП-5 [Заяць, 2013] та профілю Ранице [Anikeyev et al., 2022].

Внутрішні Карпати мають виражені індивідуалізовані особливості, оскільки історія їхнього геологічного розвитку відмінна від історії розвитку Зовнішніх Карпат. З позиції терейнової тектоніки головними елементами Закарпатського прогину є терейни (мікроплити) Алькапа (скорочення

від Альпи—Карпати—Паннонія) і Тися-Дакія. Комплекси північного фрагмента мегаблока Алькапа розвинені в основі Чоп-Мукачівської западини. Українська територія охоплює тільки невелику північну частину мегаблока Тися-Дакія, до якої належить Мармароський кристалічний масив [Гнилко, 2011]. Подібної позиції дотримувався С.С. Круглов: «...Мармароський кристалічний масив розвивався автономно по відношенню і до Внутрішніх, і до Зовнішніх Карпат та не був фундаментом останніх» [Круглов, 1998].

До шовної зони (із Зовнішніми Карпатами) океанічного походження, що містить залишки давньої океанічної кори, поглиненої у результаті субдукції, О.М. Гнилко відносить Пенінську та Примармароську сутури. Питання походження Пенінських та Мармароських скель (тектонічного, осадового чи гібридного) та їхньої ролі у

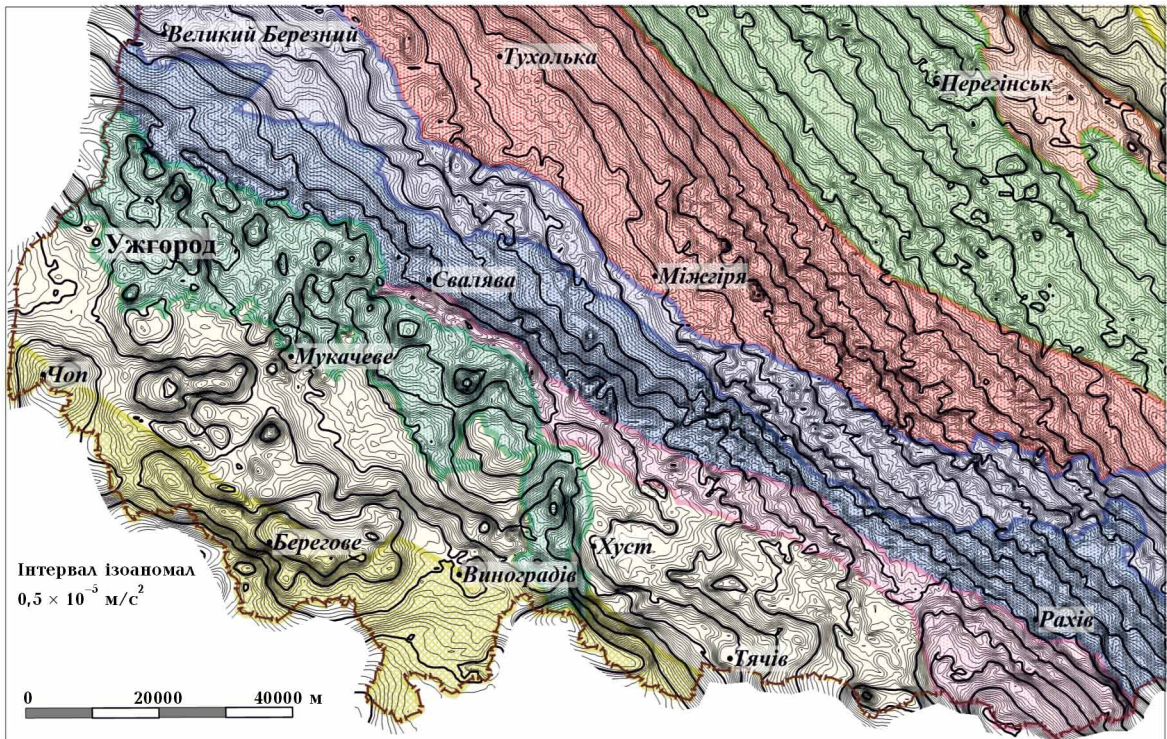


Рис. 2. Фрагмент карти гравітаційного поля [Схема ..., 2002] на фоні тектонічного районування Закарпатського прогину та прилеглої частини Складчастих Карпат (див. рис. 1).

Fig. 2. Fragment of the gravity field map [Scheme ..., 2002] against the background of the tectonic zoning of the Transcarpathian trough and the adjacent part of the Folded Carpathians (see Fig. 1).

формуванні сучасної будови Карпат також залишаються дискусійними. С.С. Круглов вважав, що активізація вулканічної діяльності, утворення Закарпатських скель, формування кордильєр та їхня руйнація пов'язані з диференційованими (за місцем, знаком та інтенсивністю) вертикальними рухами у зоні розмежування Зовнішніх і Внутрішніх Карпат [Дабагян и др., 1965; Круглов и др., 1985; Круглов, 1998 та ін.]. А.В. Пейве писав, що скелі є утвореннями складного походження; у їхньому генезисі помітні не тільки тектонічні дроблення, а й сліди осадового походження [Пейве, 1967]. В.Є. Шлапінський, ґрунтуючись на геологічних зніманнях і даних буріння, дотримується покривної будови Пенін, в утворенні яких тектоніка відіграла опосередковану роль та виявлялась у рості кордильєр, виведенні їх на денну поверхню і подальшому руйнуванні й зсувах [Шлапінський та ін., 2017]. Водночас усі зазначені автори вказують на загальний насув поясу скель

у північно-східному напрямку та перекриття ними заглиблених кордильєр.

С.І. Субботін, який один з перших приділив належну увагу до вивчення системи поздовжніх і поперечних розломів у Карпатському регіоні, зазначав, що генетичний зв'язок тектоніки Закарпатського прогину та Складчастих (Флішових) Карпат простежується через глибинні розломи; це головний чинник, який визначає їхню структуру та історію розвитку [Субботин, 1955]. У закономірностях появи та розміщення глибинних розломів у геологічному часі розкривається тісний зв'язок між магматизмом, осадоутворенням та складчастістю [Пейве, 1960].

Оглянуті погляди окреслюють напрями вивчення та простеження основних тектонічних одиниць Внутрішніх Карпат, у тому числі складного Закарпатського глибинного розлому, за гравітаційними і магнітними полями в їхніх новітніх цифрових моделях (рис. 2, 3).

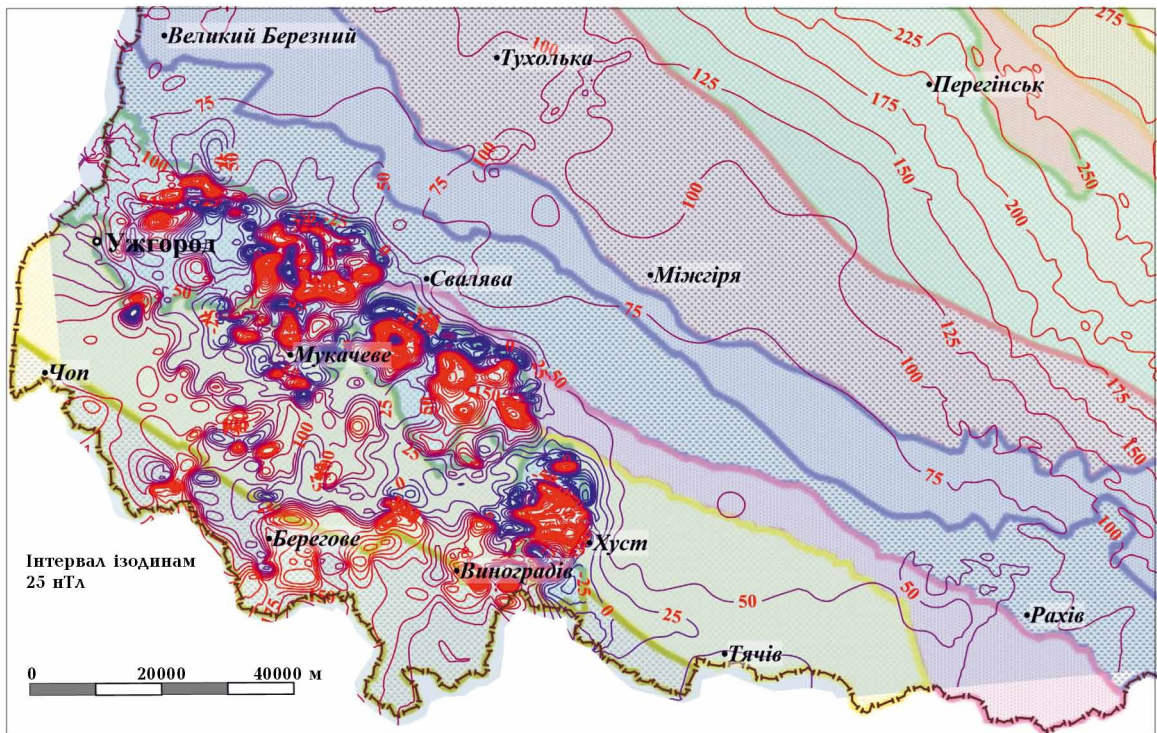


Рис. 3. Фрагмент карти аномального магнітного поля [Карта ..., 2002] на фоні тектонічного районування Закарпатського прогину та прилеглої частини Складчастих Карпат (див. рис. 1).

Fig. 3. Fragment of the anomalous magnetic field map [Map ..., 2002] against the background of the tectonic zoning of the Transcarpathian trough and the adjacent part of the Folded Carpathians (see Fig. 1).

Елементи тектоніки Закарпатського прогину за аналізом гравітаційного поля. Зіставлення просторової структури гравітаційного поля з тектонічною картою Закарпатського прогину та прилеглої частини Складчастих Карпат засвідчує, що основні тектонічні структури регіону певним чином відображуються в аномальному полі сили тяжіння (див. рис. 2). Насамперед привертає увагу досить узгоджене простягання ізоаномал і тектонічних зон Складчастих Карпат, Закарпатського прогину, яке спостерігається у північно-західній частині району досліджень до умовної лінії Виноградів—Міжгір'я. Далі на південний схід від цієї лінії вся система ізоаномал різко розвертається на південь і перетинає під різними кутами тектонічні структури регіону.

Деяку іншу картину просторової структури аномального гравітаційного поля спостерігаємо на схемі аномалій, отриманих за радіуса осереднення 10 000 м (рис. 4). На

ній яскраво виділяється смуга інтенсивних позитивних локальних аномалій, яка простягається з північного заходу на південний схід від державного кордону зі Словаччиною до державного кордону з Румунією поблизу м. Рахів та обмежує Флішові Карпати з південного заходу. Ширина смуги поступово збільшується від 5—10 км на північному заході до 20 км на південному сході. Аномалії поля сили тяжіння у цій зоні доволі інтенсивні і досягають $5 \cdot 10^{-5}$ м/с². Південно-західна межа цієї смуги на всьому її простяганні практично збігається з лінією Закарпатського глибинного розлому за даними В.М. Щерби [Доленко и др., 1976]. З північного-сходу зазначена смуга обмежується глибинним розломом [Тектоническая ..., 1986], який збігається з розломом, що на карті домезозойської різновікової поверхні підлога Українських Карпат та суміжних територій [Біліченко, 1999] позначений як Закарпатський розлом. Глибинний розлом простягається від

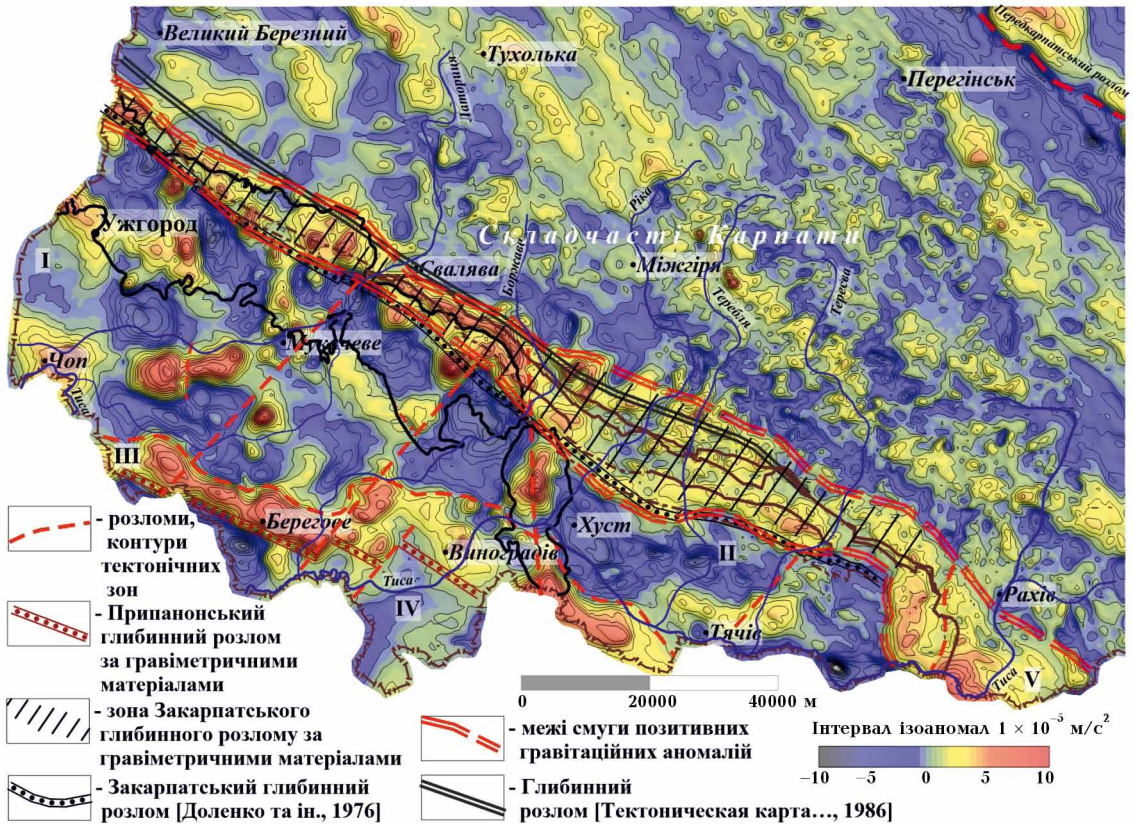


Рис. 4. Локальні аномалії поля сили тяжіння (радіус осереднення 10 000 м) Закарпатського прогину та суміжних покривів Складчастих Карпат: I — Чоп-Мукачівська западина, II — Солотвинська западина, III — Припанонська зона (Берегівське горбогір'я), IV — Паноннська міжгірська западина, V — Мармароський кристалічний масив. Межі Вигорлат-Гутинського пасма та зон Пенінських і Мармароських скель див. рис. 1.

Fig. 4. Local anomalies of the gravity field (averaging radius 10,000 m) of the Transcarpathian trough and adjacent covers of the Folded Carpathians: I — Chop-Mukacheve depression, II — Solotvyno depression, III — Prypannonian zone (Beregove mountain range), IV — Pannonian intermountain depression, V — Marmarosh massif. The boundaries of the Vygorlat-Gutyn strand, the Pieniny and Marmarosh rock zones are shown in Fig. 1.

державного кордону зі Словаччиною поблизу м. Великий Березний до р. Тересви. На південному сході як продовження смуги виділено область позитивних аномалій, яка охоплює весь Мармароський кристалічний масив. Інакше кажучи, смуга інтенсивних локальних гравітаційних аномалій охоплює зони Пенінських та Мармароських скель, а також Мармароський масив. Умовною межею, яка відділяє цю смугу від Флішових Карпат, є лінія високого градієнта сили тяжіння або лінія розмежування позитивних і негативних локальних аномалій гравітаційного поля (див. рис. 4). Вона також доволі контрастно проявляється на картах гравітаційного поля у рельєфно-тіньовому зображенні (рис. 5). На схе-

мі локальних гравітаційних аномалій у рельєфно-тіньовому зображенні (рис. 6) ця градієнтна зона впевнено відмежовує Мармароський масив від Флішових Карпат.

З огляду на інтегральний характер відображення геологічної будови у гравітаційному полі, вважаємо, що вся смуга виділених інтенсивних локальних гравітаційних аномалій (див. рис. 4—6) є відображенням приповерхневих і глибинних неоднорідностей, якими можуть бути геологічні структури різних розмірів і глибин залягання, що належать до зон Пенінських і Мармароських скель, а також Мармароського кристалічного масиву.

Отримані дані дають підстави зробити висновок, що виділену смугу інтенсивних

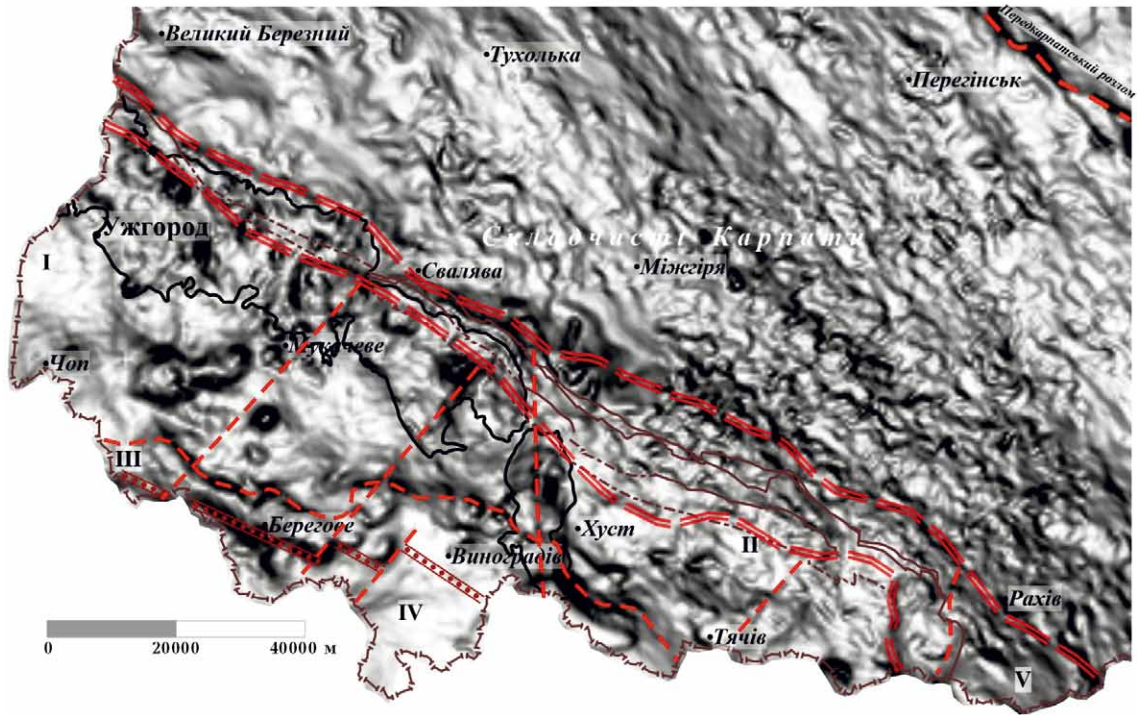


Рис. 5. Поле сили тяжіння в редукції Буге (рельєфно-тіньове зображення) Закарпатського прогину та суміжних покривів Складчастих Карпат. Умовні позначення див. на рис. 4.

Fig. 5. The Bouguer gravity (relief-shadow image) of the Transcarpathian trough and adjacent covers of the Folded Carpathians. Legend see in Fig. 4.

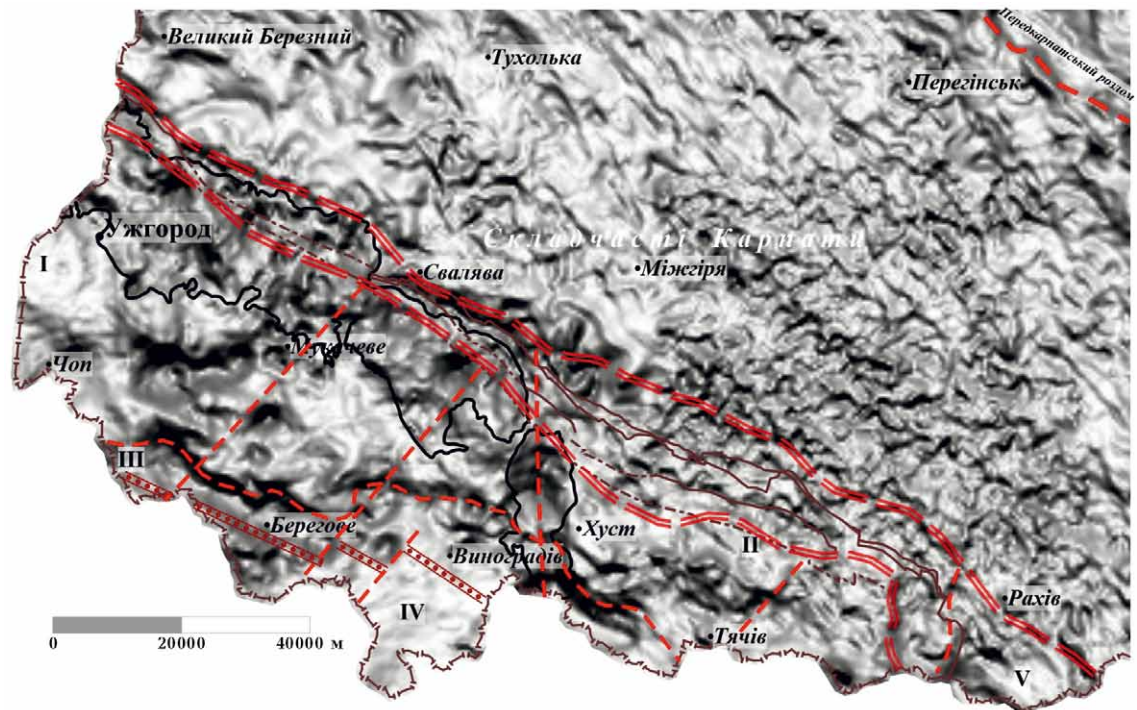


Рис. 6. Локальні аномалії поля сили тяжіння (радіус осереднення 10000 м, рельєфно-тіньове зображення) Закарпатського прогину та суміжних покривів Складчастих Карпат. Умовні позначення див. на рис. 4.

Fig. 6. Local anomalies of the gravity field (averaging radius 10,000 m, relief-shadow image) of the Transcarpathian trough and adjacent covers of the Folded Carpathians. Legend see in Fig. 4.

локальних гравітаційних аномалій між Закарпатським глибинним розломом з південного заходу, за версією В.М. Щерби [Доленко и др., 1976] (див. рис. 4), та глибинним розломом з північного-сходу за тектонічною картою [Тектоническая ..., 1986] (див. рис. 1) можна вважати окремою тектонічною одиницею — зоною Закарпатського глибинного розлому та зоною зчленування Внутрішніх і Зовнішніх Карпат. Питання внутрішньої будови цієї зони потребує проведення подальших досліджень.

Зіставлення характеру відображення зони Закарпатського розлому у морфології гравітаційного поля та локальних аномалій, отриманих за різних радіусів осереднення (10 000 і 2500 м), як у ізоаномалах, так й у рельєфно-тіньовому зображенні, показує незмінність її планового положення (див. рис. 4—6), що, ймовірно, свідчить про субвертикальне падіння розлому від поверхні донеогенового фундаменту до значних глибин (>10 000 м). На тектонічних картах Закарпатського прогину глибинний розлом [Тектоническая ..., 1986] і Закарпатський глибинний розлом [Доленко и др., 1976], що обмежують смугу інтенсивних позитивних локальних аномалій, показано до меридіонального розвороту Мармароських скель (див. рис. 4). Далі, у південно-східному напрямку, виділяється Рахівський покрив. За порівнянням тектоніки та морфології аномалій виявлено узгоджене простягання північно-східного контуру позитивних локальних аномалій та межі Мармароського кристалічного масиву. Це дає підстави припустити, що Рахівський покрив насунутий у напрямку Складчастих Карпат, а межу зони Закарпатського розлому на цій ділянці визначити за градієнтною смугою, яка з північного сходу оконтурює вказану зону позитивних гравітаційних аномалій (див. рис. 4—6) і також відображає північно-східну межу Мармароського кристалічного масиву.

Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо відображається у полі сили тяжіння смугою інтенсивних позитивних аномалій, що супроводжують його на всій території

Закарпатського прогину від м. Ужгород на північному заході до м. Хуст на півдні і далі на схід у напрямку м. Тячів. При цьому привертає увагу субмеридіональний відрізок Вигорлат-Гутинського пасма, який відповідає важливому тектонічному шву [Чекунов, 1972] — Оашському поперечному глибинному розлому, що відгалужується від Закарпатського розлому на ділянці басейну р. Боржава (с. Довге) [Дабагян и др., 1965]. Він розділяє Закарпатський прогин на Чоп-Мукачівську та Солотвинську западини.

У гравітаційному полі Вигорлат-Гутинське пасмо виділяється підвищеною диференційованістю високоградієнтних аномальних зон. Відмінна за морфологією гравітаційних аномалій й Припаннонська зона (Берегівське горбогір'я) та Паноннська міжгірська западина (див. рис. 4).

Далі, на південному сході підвищеним рівнем інтенсивності гравітаційних аномалій відображений Мармароський кристалічний масив, який відділений від Солотвинської западини поперечними порушеннями (див. рис. 4—6).

З південного заходу Закарпатський прогин відділений від Паноннської міжгірської западини Припаннонським глибинним розломом, який супроводжується смугою інтенсивних локальних позитивних аномалій гравітаційного поля Берегівського горбогір'я (див. рис. 4). Південно-західний контур цієї смуги локальних аномалій добре узгоджується з межею Паноннської западини, та положенням Припаннонського глибинного розлому [Хоменко, 1971; Доленко и др., 1976].

Отже, виконаний аналіз аномального гравітаційного поля Закарпатського прогину дає змогу підтвердити основні особливості тектонічної будови Закарпатського прогину, а також уточнити положення окремих структурних одиниць.

Елементи тектоніки Закарпатського прогину за аналізом аномального магнітного поля. Наявність високоточної цифрової карти аномального магнітного поля [Карта ..., 2002] надає можливість аналізувати тектонічну природу його аномальних

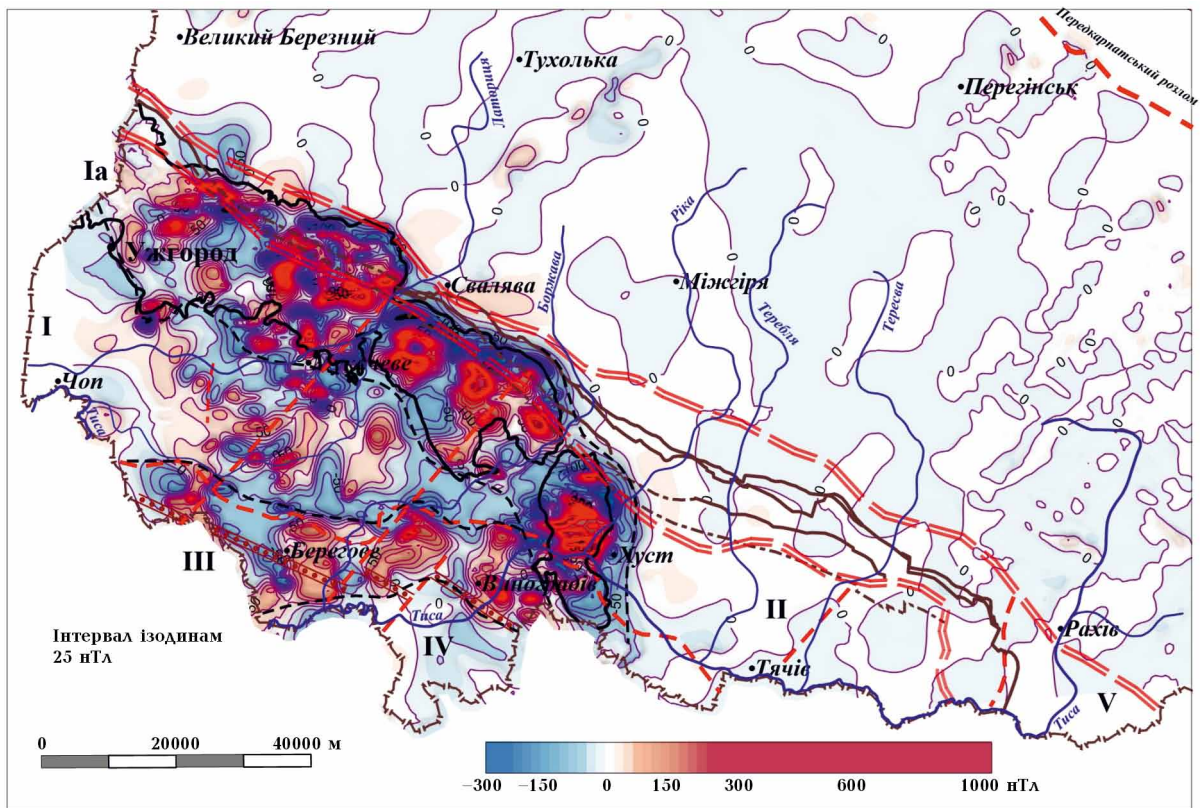


Рис. 7. Локальні аномалії магнітного поля (радіус осереднення 10 000 м) Закарпатського прогину та суміжних покривів Складчастих Карпат. Тектонічні зони (оконтурені чорною пунктирною лінією): I — Чоп-Мукачівська западина, Ia — Вигорлат-Гутинське пасмо, II — Солотвинська западина, III — Припаннонська зона (Берегівське горбогір'я), IV — Паннонська міжгірська западина, V — Мармароський кристалічний масив. Інші умовні позначення див. на рис. 4.

Fig. 7. Local anomalies of the magnetic field (averaging radius 10,000 m) of the Transcarpathian trough and adjacent covers of the Folded Carpathians. Tectonic zones (outlined by a black dashed line): I — Chop-Mukacheve depression, Ia — Vygortlat-Gutyn strand, II — Solotvyno depression, III — Prypannonian zone (Beregove mountain range), IV — Pannonian intermountain depression, V — Marmarosh massif. Other legend sees in Fig. 4.

складових. На рис. 3 показано фрагмент магнітного поля на фоні схеми тектонічних зон Закарпатського прогину та прилеглої до прогину частини Складчастих Карпат. У Складчастих Карпатах спостерігається північно-західне, поздовжнє до тектонічних покривів, простягання ізодинам зі зменшенням інтенсивності поля в південно-західному напрямку від 250 до 0 нТл. Закарпатський прогин за характером та інтенсивністю поля можна розділити на дві області — північно-західну та південно-східну, межа між якими проходить по меридіану м. Хуст (див. рис. 3, 7).

Простеження зони Закарпатського глибинного розлому у магнітному полі ускладнене тим, що зона розлому перекрита знач-

ною товщею (до 1000—1500 м) магнітних порід Вигорлат-Гутинського пасма [Круглов и др., 1985; Тектоника ..., 1986; Кузнецова, Максимчук, 2011 та ін.], які створюють високоградієнтне і високоаномальне поле. Північно-східну межу Закарпатського прогину окреслено високими градієнтами магнітного поля (див. рис. 7). Ця межа наближено відповідає зоні Закарпатському глибинному розлому. У південно-західній та центральній частині Закарпатського прогину аномальне магнітне поле доволі диференційоване із значною кількістю локальних аномалій інтенсивністю від 100—300 нТл у зоні Припаннонського розлому до 800 нТл у Чоп-Мукачівській западині у межах Вигорлат-Гутинського вул-

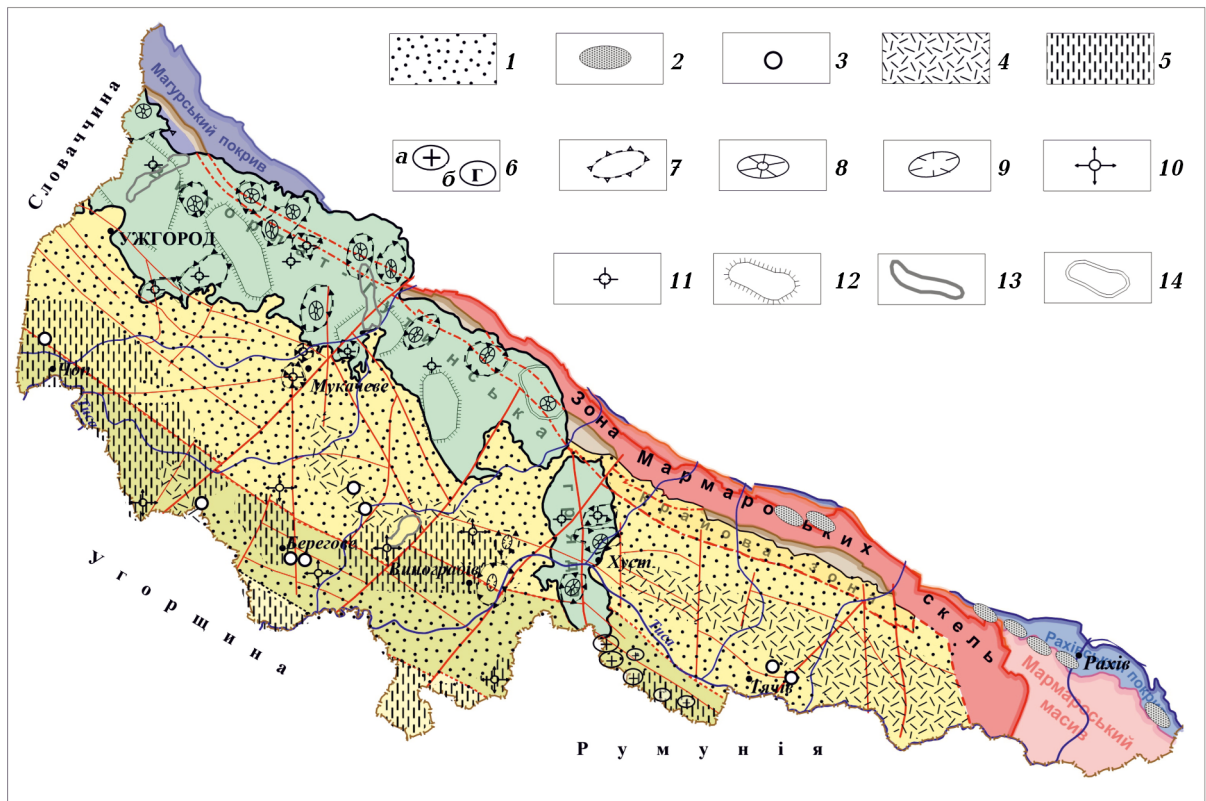


Рис. 8. Тектономагматична карта Закарпатського прогину [Ляшкевич та ін., 1995]: 1 — автохтонні моласи, 2 — мезозойські магматичні породи у відслоненнях (основні або/та ультраосновні), 3 — мезозойські магматичні породи у свердловинах (основні або/та ультраосновні), 4 — новоселицький комплекс кислих туфів та ігнімбритів, 5 — доробратівський вулканогенно-осадовий комплекс, 6 — інтрузії (а — кислі, б — основні), 7 — вулканокупольні структури, 8 — стратовулкани, 9 — вулкани пірокластичні, 10 — поховані вулкани, 11 — неки (жерла вулканів), 12 — грабени, 13 — окремі лавові потоки, 14 — кальдери. Інші умовні позначення див. на рис. 1.

Fig. 8. Tectono-magmatic map of the Transcarpathian trough [Lyashkevich, Medvedev, Varychev, 1995]: 1 — autochthonous molasses, 2 — Mesozoic igneous rocks in outcrops (mafic and/or ultramafic), 3 — Mesozoic igneous rocks in wells (mafic or/and ultramafic), 4 — Novoselytsa complex of acid tuffs and ignimbrites, 5 — Dorobrativ volcanogenic-sedimentary complex, 6 — intrusions (a — acidic, b — mafic), 7 — volcanic dome structures, 8 — stratovolcanoes, 9 — pyroclastic volcanoes, 10 — buried volcanoes, 11 — necks (vents of volcanoes), 12 — grabens, 13 — separate lava flows, 14 — calderas. Other legend sees in Fig. 1.

канічного пасма. Південно-східна частина Закарпатського прогину — Солотвинська западина, за своєю історією геологічного розвитку, тектонікою та складом порід до неогенового фундаменту відрізняється від Чоп-Мукачівської западини, що відобразилося на характері і морфології аномально-магнітного поля (див. рис. 3). Магнітне поле тут має спокійний, слабоаномальний характер із загальною тенденцією росту у напрямку до Складчастих Карпат [Кузнецова, Максимчук, 2011].

У полі локальних магнітних аномалій за радіуса осереднення 10 000 м (див. рис. 7)

відмінність Чоп-Мукачівської западини та Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма від Солотвинської западини як за морфологією, так і за інтенсивністю аномалій проявляється ще більшою мірою. Чоп-Мукачівська западина та пасмо характеризуються явно підвищеною інтенсивністю та диференційованістю аномального поля. У межах Солотвинської западини локальним аномаліям магнітного поля властиві істотно знижена інтенсивність і дуже слабка диференційованість. Основною причиною таких відмінностей є приналежність цих зон до різних блоків (мікроплит?), які різ-

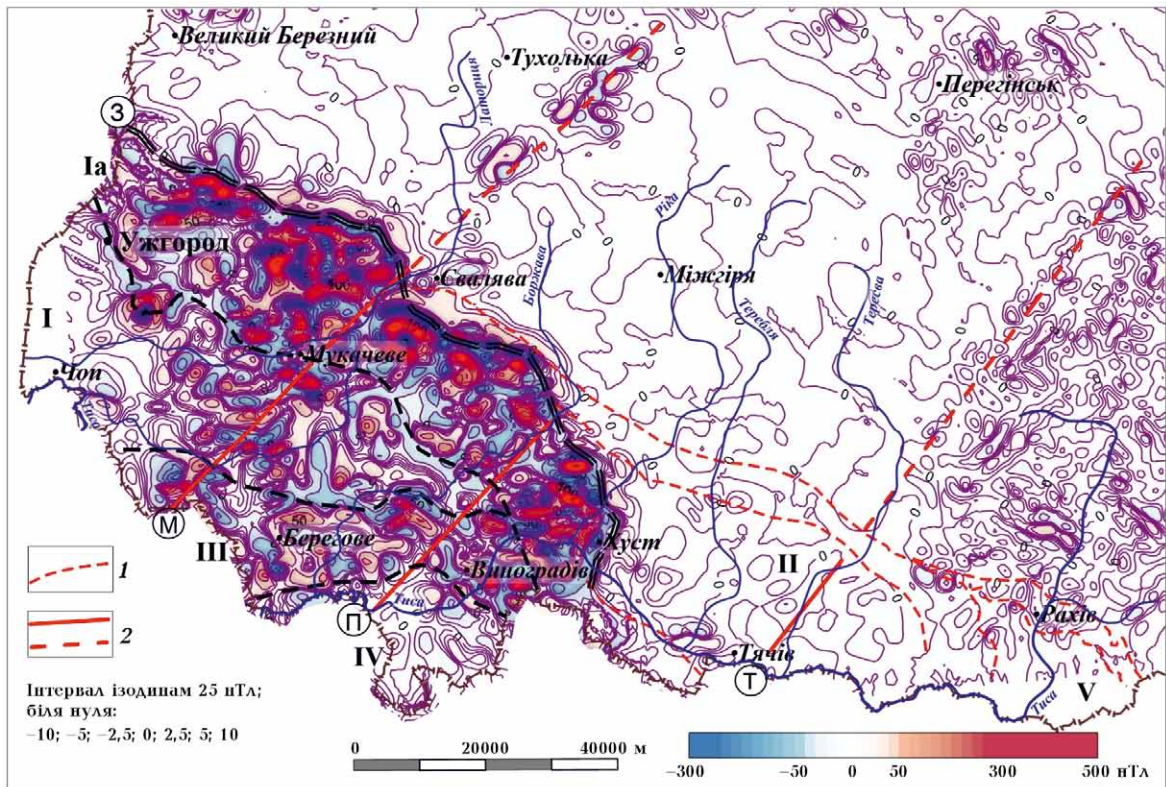


Рис. 9. Локальні аномалії магнітного поля (радіус осереднення 2500 м) Закарпатського прогину та суміжних покривів Складчастих Карпат: 1 — елементи тектоніки Закарпатського прогину на схід від Вигорлат-Гутинського пасма (див. рис. 1); 2 — глибинні розломи та їхнє продовження у Складчасті Карпати за аномаліями магнітного поля (М — Мукачівський, П — Приборжавський, Т — Тересвянський). 3 — зона високих градієнтів. Інші умовні позначення див. на рис. 7.

Fig. 9. Local anomalies of the magnetic field (averaging radius 2500 m) of the Transcarpathian trough and adjacent covers of the Folded Carpathians: 1 — tectonic elements of the Transcarpathian trough to the east of the Vygorlat-Gutyn strand (see Fig. 1); 2 — deep faults and their extension in the Folded Carpathians by magnetic field anomalies (M — Mukachivskiyi, П — Pryborzhavskiyi, Т — Teresvyanskyi). 3 — high gradient zone. Other legend sees in Fig. 7.

няться глибиною залягання поверхні більш древнього (домезозойського) фундаменту та складом порід.

Найбільш інтенсивні локальні аномалії магнітного поля переважно пов'язані з відомими вулканами (рис. 8). Слід зважати й на те, що вулкани могли мати кілька жерл, іноді розташованих на відстані у декілька кілометрів від основного жерла.

За характером аномального магнітного поля (див. рис. 3) та локальних магнітних аномалій (рис. 7, 9) прогин поділено на декілька зон. Чоп-Мукачівська западина (зона I) відділена від Паннонської міжгірської западини (зона IV) специфічним за будовою Берегівським підняттям (горбогір'ям) — зона III. Північно-східна

межа широкої смуги (Ia), яка майже повністю збігається з Вигорлат-Гутинським пасмом і відрізняється найбільшою інтенсивністю поля, пов'язана із зоною Закарпатського глибинного розлому (зона 3, рис. 9). До неї потрібно віднести і вулкан Чорна Гора, що біля м. Виноградів (див. рис. 8). У Солотвинській западині (зона II) слабка інтенсивність спокійного поля ще більш зменшується у південному напрямку, що зумовлено деяким зростанням товщини осадового чохла (див. рис. 3).

Детальна карта локальних магнітних аномалій (див. рис. 9) демонструє явні відмінності Солотвинської западини, зони Мармароських скель та Мармароського масиву від Складчастих Карпат за мор-

фологією, розмірами та напрямком простягання локальних аномалій або їхніх ланцюжків. Підвищена диференціація аномалій магнітного поля у районі м. Рахів пов'язана з кристалічними породами Мармароського масиву (зона V), Рахівського покриву та покривними зонами Складчастих Карпат. Дещо дивно, що виділена на північ і північний схід від м. Рахів область мозаїчних аномалій магнітного поля охоплює південно-східну частину Складчастих Карпат, тоді як в аномальному гравітаційному полі подібна морфологія не проявляється (див. рис. 4).

На картах локальних магнітних аномалій є також ознаки поперечних розломів із простяганням у межі Складчастих Карпат. Яскравим прикладом є Мукачівський та Тересвянський розломи (див. рис. 1), які у локальному гравітаційному полі Закарпатського прогину мають певне відображення (див. рис. 4). Їхнє продовження у Складчастій Карпати простежується характерним ланцюжком локальних магнітних аномалій (див. рис. 9). Тересвянський розлом є частиною Тячево-Надвірнянсько-Монастирецької зони розломів, що на схемі тектоніки західних областей України [Заяць, 2013]. На карті розривних порушень за редакцією Н.А. Крилова [Карта..., 1988] Мукачівський (Латорицький) і Тересвянський розломи розташовані у зонах лінементів, що через Складчасті Карпати простягаються на схил Східноєвропейської платформи. Підкреслимо тут актуальні погляди С.І. Субботіна стосовно поперечних глибинних розломів, який вважав, що поперечні розломи складають загальну зону порушень, яка розсікає всю дугу Східних Карпат, її крайові прогини та прилеглу частину Східноєвропейської платформи [Субботин, 1955]. Г.Н. Доленко дотримувався такої самої думки, додавши, що за своєю природою вони успадковані від будови територій догеосинклінального періоду розвитку Карпат [Доленко и др., 1976].

Відображення солянокупольних структур, газових родовищ і газоперспективних структур у гравімагнітних аномаліях. У гравітаційному полі крім розломної

тектоніки чітко проявляються інші особливості геологічної будови Закарпатського прогину; зокрема, позитивні аномалії зумовлені виверженими вулканогенними породами та інтрузіями різної товщини, віку та складу; негативні аномалії — товщами соленосних порід, солянокупольних структур та соляних штоків, низка інтенсивних позитивних локальних аномалій відображає антиклінальні підняття.

Переважну кількість локальних негативних гравітаційних аномалій у Чоп-Мукачівський та Солотвинський западинах можна пояснити впливом розуцілених соленосних утворень. Так, у складі тереблянської світи переважають піщано-глинисті відклади з кам'яною сіллю, глинами, ангідритами, засоленими аргілітами, алевролітами, рідше лінзами туфітів [Державна..., 2003].

У Чоп-Мукачівський западині світа залягає на глибинах від 616 до 2920 м, поділяється на нижню, переважно теригенну і верхню — соленосну. Максимальна товщина соленосної товщі в районі Залужжя — до 330 м.

Дещо інша ситуація у Солотвинській западині. У північно-східній її частині тереблянська світа поширена на поверхні, але вона не соленосна. У центральній і південній частинах западини породи світи розкриті численними глибокими свердловинами під час розвідки родовищ солі на ділянках Солотвинській, Округлій, Тереблянській, Олександрівцівській, Данилівській та при пошуках нафти і газу на ділянках Тересви, Колодно, Тячів, Сокирниця, Грушево, Апшиця та ін. Розкрита товщина світи тут дорівнює 200—1000 м, а солі — 75—780 м [Державна..., 2009], чого достатньо для утворення солянокупольних структур. У Закарпатському прогині солі часто утворюють діашіри, які виходять під четвертинні відклади, а місцями й на денну поверхню. Тут відомі два родовища солі промислового значення — Солотвинське і Тереблянське. У Солотвинському родовищі, що розробляється, шток солі потужністю до 1300 м прориває відклади солотвинської та тереблянської світ

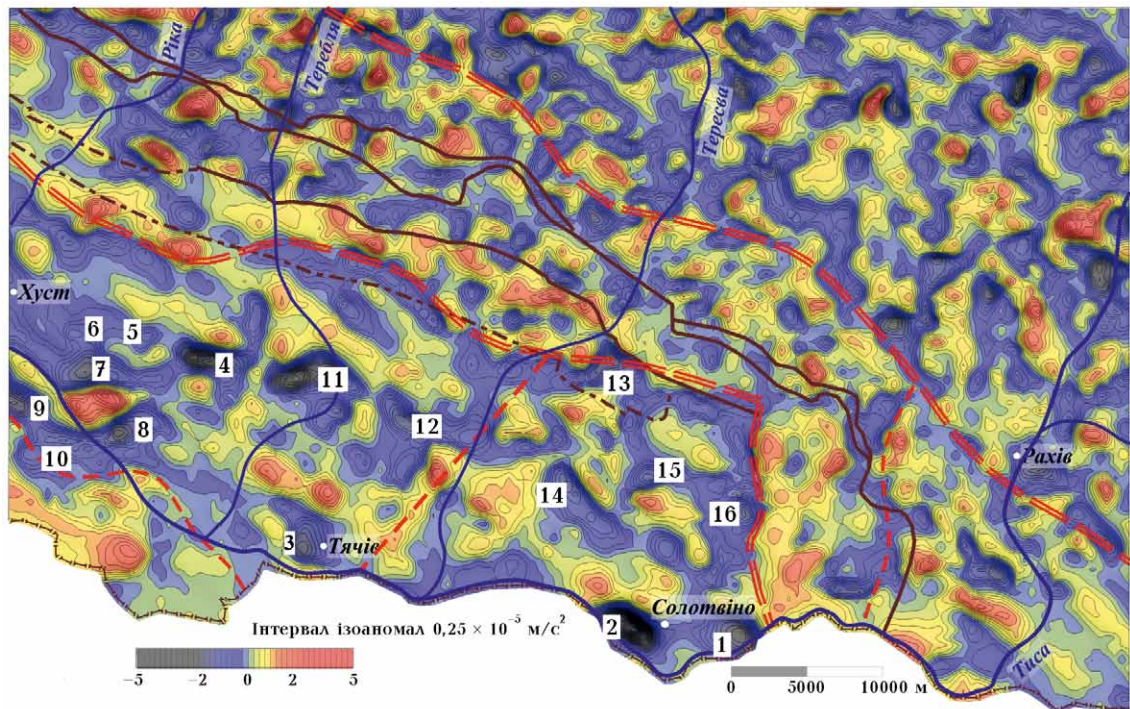


Рис. 10. Локальні аномалії поля сили тяжіння (радіус осереднення 2500 м) Солотвинської западини. Солянокупольні підняття, виявлені за локальними негативними аномаліями: 1 — Східносолотвинське, 2 — Солотвинське, 3 — Західнотячівське, 4 — Олександрівцівське, 5 — Данилівське, 6 — Борнявське, 7 — Північновелятинське, 8 — Модьорське, 9 — Велятинське, 10 — Шаянське, 11 — Тереблянське, 12 — Округленське, 13 — Вишоватийське, 14 — Кривиське, 15 — Топчинське, 16 — Добрікське. Інші умовні позначення див. на рис. 4.

Fig. 10. Local gravity anomalies (averaging radius 2500 m) of the Solotvyno depression. Salt dome uplifts detected by local negative anomalies: 1 — Eastern Solotvynske, 2 — Solotvynske, 3 — Western Tiachivske, 4 — Oleksandrivtsivske, 5 — Danylivske, 6 — Borniavske, 7 — Northern Velyatynske, 8 — Modyorske, 9 — Velyatynske, 10 — Shayanske, 11 — Tereblyanske, 12 — Okruglenske, 13 — Vyshovatyske, 14 — Kryvyske, 15 — Topchynske, 16 — Dobrikske. Other legend sees in Fig. 4.

неогену. Розміри штоку у нижній частині 7000×4000 м. У ньому чергуються пласти, прошарки, лінзи чистої солі та лінзи глин, засолених глин, глинисто-соленосні брекчії. Товщина пластів чистої солі досягає 45 м, а забрудненої — від декількох сантиметрів до десятків метрів. На структурно-тектонічній карті західних областей України [Структурно-тектонічна ..., 1991] у межах Солотвинської западини показано три соляні штоки: Солотвинський (інтенсивність негативного гравітаційного ефекту перевищує $-6,2 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$), Тереблянський ($-3,3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$) та Олександрівцівський ($-3,5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$). Негативні гравітаційні аномалії високої інтенсивності (менше $-1,0 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$), що у межах Солотвинської западини (рис. 10), імовірно, є впливом солянокупольних підняття.

У районі м. Солотвино чітко виділяються дві негативні аномалії, які пов'язані з соляними штоками. Власне Солотвинський соляний шток (купол) має розміри 4000×2500 м, а Східносолотвинський — 2000×1300 м. Північніше Солотвинського соляного купола розміщується антиклінальне підняття розмірами 7000×2500 м, яке розбите поперечним порушенням на два блоки. Близько до м. Тячів за локальною негативною аномалією виділено Західнотячівський купол розміром приблизно 1500×1000 м. Інші соляні куполи (підняття) мають такі розміри, м: Олександрівцівський — 2500×600, Данилівський — 900×900, Борнявський — 900×600, Північновелятинський — 1200×1000, Модьорський — 1100×1000, Велятинський — 2000×1100, Шаянський — 1200×1200, Тереблянський —

5000×1300, Округленський — 1500×800, Вишоватийський — 2000×1000, Кривиський — 7500×1200, Топчинський — 1200×1000, Добрікський — 1000×800.

Менш інтенсивні негативні локальні аномалії гравітаційного поля, мабуть, пов'язані з прогинами поміж антиклінальними підняттями, із зонами підвищеної товщини соленосних порід або криптодіапірових структур. Всі вони розташовані у межах Солотвинської западини.

Солянокупольні структури, які відображені в аномаліях гравітаційного поля, у локальних магнітних аномаліях (див. рис. 9) не простежуються, по крайній мірі за таким масштабом (М 1:200 000) й точністю знімання.

Для вивчення відображення в локальних аномаліях гравітаційного поля антиклінальних структур, зокрема нафтогазоносних, використано карту нафтогазогеологічного районування Західного регіону України, масштабу 1:500 000, де наведено газові родовища та перспективні структури станом на 2004 р. [Карта ..., 2007] і більш сучасні дані. Нами виконано зіставлення цих матеріалів з позитивними локальними гравітаційними аномаліями (рис. 11).

У Солотвинській западині Солотвинське і Дібровське газові родовища (належать до однієї Солотвинської брахіантиклінальної структури — східної та західної її перекліналей відповідно) та невелике газове родовище, що відкрито у 2016 р. на відстані близько 5 км на південний схід біля с. Біла Церква поряд із державним кордоном з Румунією, пов'язані з Солотвинським та Східносолотвинським солянокупольними підняттями. Низка перспективних структур (рис. 11, а) також тяжіють до солянокупольної тектоніки; інші структури — до антиклінальних піднять, які прогнозовані за місцеположенням інтенсивних позитивних гравітаційних аномалій (рис. 11, б). Водночас у межах зони загальної негативної інтенсивності локального поля, яка значною мірою зумовлена солянокупольною тектонікою та/або загальним зростанням товщини осадового покриву, можуть бути виявлені ділянки з підвищеним рів-

нем інтенсивності локальних аномалій (та значної амплітуди, до $2,0 \cdot 10^{-5}$ м/с²). Такою, наприклад, є ділянка на південному сході від м. Хуст, яка майже збігається з однією із виявлених раніше структур. Подібні ділянки є і в межах Чоп-Мукачівської западини.

У Чоп-Мукачівській западині Королівське газове родовище розміщується на одній з ділянок у межах витягнутого у південно-східному напрямку та розчленованому на окремі блоки антиклінальному піднятті. Родовище тяжіє до розлому, який відділяє його від більш піднятого центрального Виноградівського блока. На заході від цієї ділянки інше прогнозоване антиклінальне підняття з огляду на інтенсивність локальної позитивної гравітаційної аномалії є більш амплітудним або залягає на менших глибинах.

Станівське газове родовище розміщується біля м. Мукачево у межах північно-західної частини антиклінального підняття, витягнутого у південно-східному напрямку з невеликим перегином по розлому та заворотом на схід. По іншій бік розлому (рис. 11, а) знаходяться дві структури з негативними результатами буріння. На південний захід від м. Мукачево є ще одна структура з негативними результатами. Вона буквально прилягає до антиклінального підняття, прогнозованого за інтенсивною локальною гравітаційною аномалією.

Русько-Комарівське газове родовище, на відміну від попередніх, залягає в зоні розвитку інтенсивної негативної аномалії, тобто в пригнічених умовах. Родовище є пасткою антиклінального типу, яка розбита розломами на окремі блоки. На півдні та на півночі від родовища розміщуються раніше виявлена низка структур та прогнозовані нами підняття.

Перспективи значної частки структур та піднять можуть бути пов'язані з їхніми схилами, де пастки формуються як тектонічно екрановані або як зони вклинювання пластів-колекторів. Прикладом прогнозу за сейсмічними та гравіметричними матеріалами подібного типу зон є оконтурення ділянок-смуг розвитку продуктивних па-

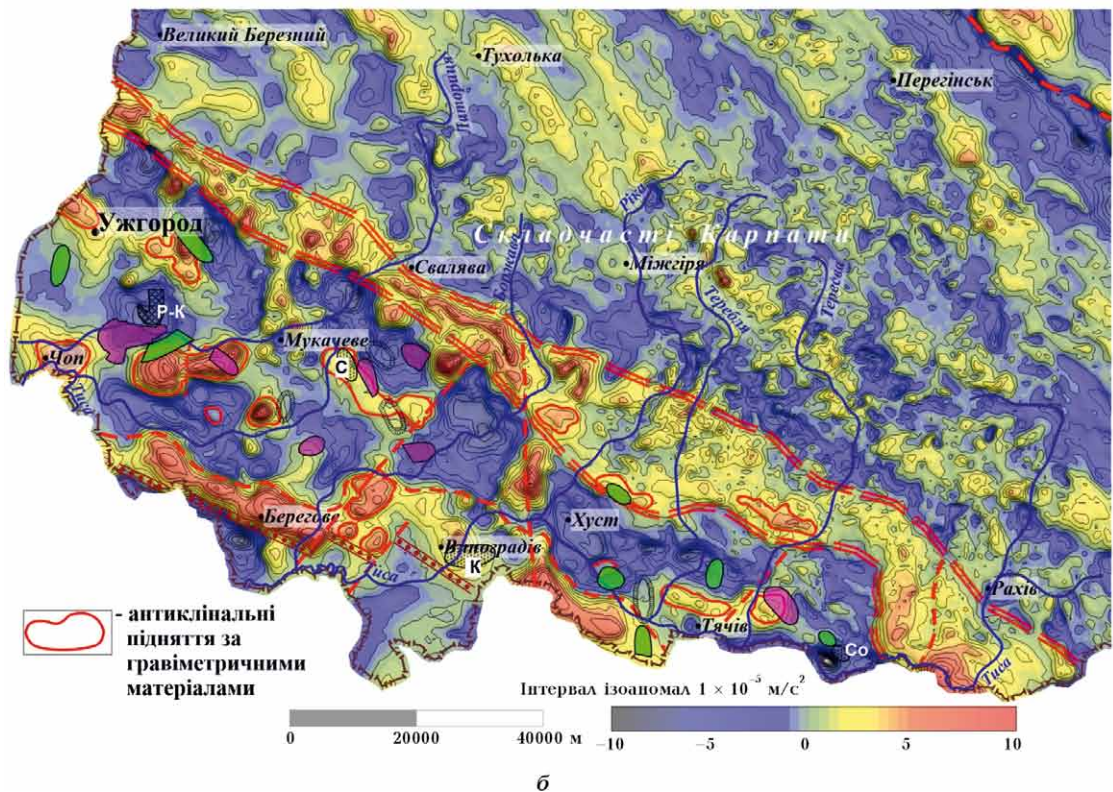
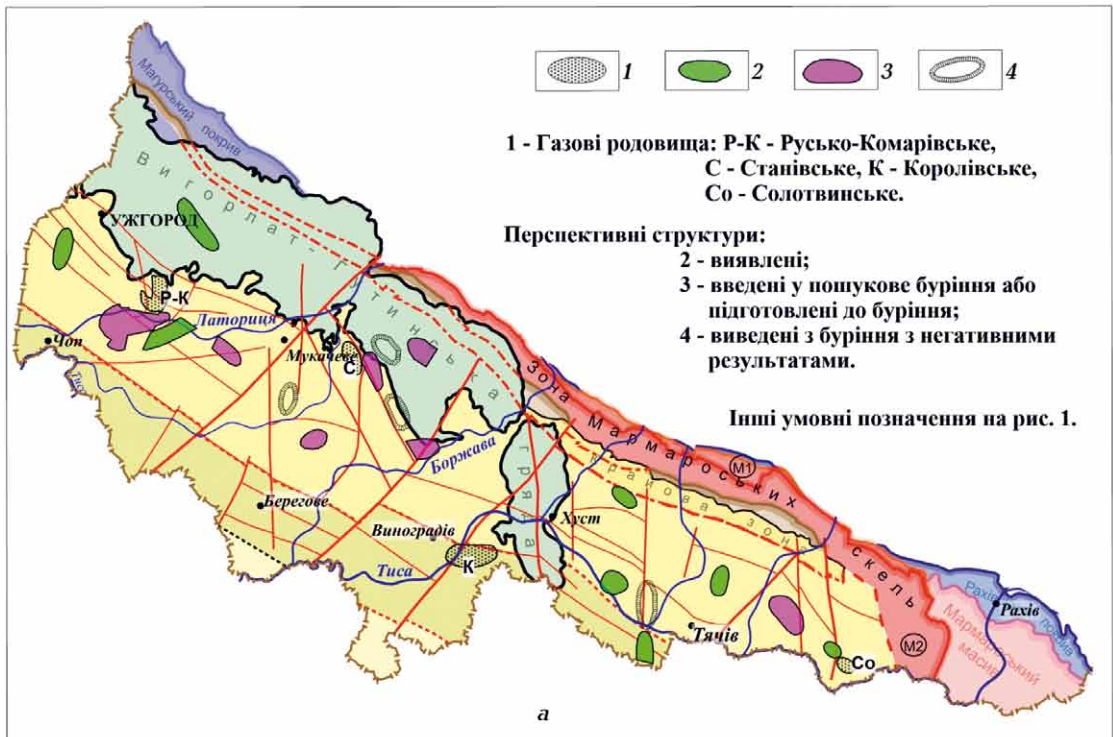


Рис. 11. Газові родовища і перспективні структури [Карта ..., 2007] на тектонічній основі (а) та на фоні локальних аномалій поля сили тяжіння (радіус осереднення 10000 м) (б) Закарпатського прогину й суміжних покривів Складчастих Карпат. Умовні позначення див. на рис. 4.

Fig. 11. Gas fields and prospective structures [Map ..., 2007] on the tectonic basis (a) and against the background of local gravity anomalies (averaging radius 10,000 m) (b) of the Transcarpathian trough and adjacent covers of the Folded Carpathians. Legend see in Fig. 4.

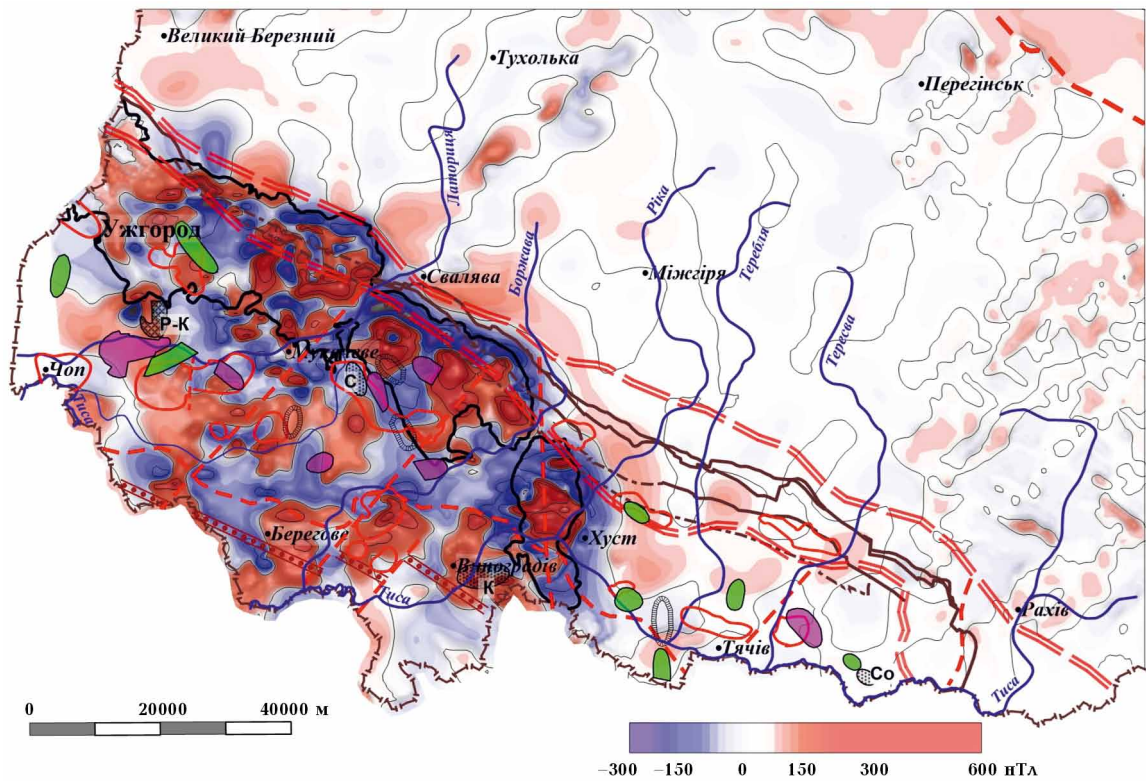


Рис. 12. Газові родовища та перспективні структури на фоні локальних аномалій магнітного поля (радіус осереднення 10000 м) з елементами тектоніки Закарпатського прогину. Умовні позначення див. на рис. 1, 11.

Fig. 12. Gas fields and prospective structures against the background of the local magnetic anomalies (averaging radius 10,000 m) with tectonics elements of the Transcarpathian trough. Legend see in Fig. 1, 11.

чок піскуватих лінз бадену над відносно пологими схилами Слобідколіснрянського та Коломийського палеовиступів у південно-східній частині Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину [Заяць, 2013; Анікеєв, Максимчук, 2019; Анікеєв та ін., 2019].

Зазначимо, що Ужгородське підняття, яке тяжіє до державного кордону із Словаччиною, є високopersпективним на поклади газу, оскільки є продовженням ділянки на території Словаччини, де у 2007 р. було відкрито газове родовище поряд із с. Павловце-над-Угом (близько 18 км на захід від м. Ужгород).

Автори праць [Геологія..., 1977; Шлапінський та ін., 2017] зазначають, що С.І. Субботін [Субботин, 1955] на території Закарпатського прогину під неогеном у басейні р. Тересва за геофізичними даними виявив наявність меридіонального підняття, обмеженого зі заходу і сходу

розривними порушеннями на ймовірному південному продовженні Пенінської зони. Дійсно, на схемах локальних аномалій гравітаційного поля на цій ділянці явно простежується складна за морфологією смуга позитивних аномалій, яка починаючи від крайнього південно-східного замикання виходів порід Пенінського покриву на денну поверхню на правобережжі р. Тересва простягається на південь. Поблизу державного кордону України смуга аномалій повертає на захід, простягається у поздовжньому напрямку, перетинає басейн Тересви перед м. Тячів і заходить у Припаннонську зону (див. рис. 11, б). Ця смуга, на нашу думку, відображає підняття у фундаменті у межах Солотвинської западини, тобто малоімовірно, щоб відображала простягання складного за формою Пенінського покриву під моласами западини аж до зони Припаннонського розлому.

На карті локальних аномалій магнітного поля Закарпатського прогину (рис. 12) низка антиклінальних структур пов'язана з позитивними аномаліями, але газові родовища та більшість виявлених раніш та прогнозованих структур розташовані у межах крил (градієнтних зон) позитивних аномалій.

Висновки. Виконаний аналіз гравімагнітних полів із використанням геолого-тектонічних даних продемонстрував їхню високу інформативність при вивченні загальних рис структурно-тектонічної будови Закарпатського прогину. Елементи розломної тектоніки, які виділені за гравімагнітними даними, доповнюють наявні погляди на глибинну будову Закарпатського прогину. Виділено зону Закарпатського глибинного розлому — як тектонічну зону, що трасується за смугою інтенсивних локальних аномалій гравітаційного поля. Ця смуга простягається вздовж Флішових Карпат до межі Мармароського масиву, обмежена високими градієнтами з південного заходу і північного сходу та є відображенням зони Пенінських і Мармароських скель. Зону Закарпатського глибинного розлому розглянуто як шовну зону Внутрішніх і Флішових Карпат. Підтверджено складну будову Закарпатського прогину, простежено основні глибинні розломи, тектонічні підзони та прогнозовано низку антиклінальних піднять та соляних структур за ознаками їхнього прояву у локальних гравімагнітних аномаліях.

Контури тектонічних зон, у тому числі розломи, границі мікроплит, які виявлено за характерними ознаками у морфології магнітного поля, не завжди збігаються з розломами, виділеними за гравітаційними аномаліями, що зумовлено природою магнітних аномалій. За характером аномального магнітного поля і локальних магнітних аномалій підтверджено тектонічне районування Закарпатського прогину на Чоп-Мукачівську і Солотвинську западини, Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо. Відмінності у структурі аномального магнітного поля Чоп-Мукачівської і Солотвинської западин є їх приналежність до різних блоків (мікроплит), які різняться глибиною

залягання фундаменту та складом порід. За аналізом локальних магнітних аномалій простежено простягання Мукачівського й Тересвянського розломів у межах Складчастих Карпат.

Якісний аналіз морфології та інтенсивності гравітаційних і магнітних полів дає можливість краще розуміти структурно-тектонічну будову Закарпатського прогину та його окремих зон. У аномаліях гравітаційного поля досить чітко відображаються окремі підняті та опущені ділянки фундаменту. Простежені зони розломів та ускладнень поверхні фундаменту за аномаліями геофізичних полів важливі для виявлення і оконтурення нафтогазоперспективних ділянок, оскільки ці зони є шляхами міграції флюїдів та створюють сприятливі умови для утворення родовищ вуглеводнів.

У результаті зіставлення карт аномалій поля сили тяжіння із розташуванням розвіданих газових родовищ (Солотвинське, Королівське, Станівське) зроблено висновок, що вони пов'язані з ділянками підвищеної інтенсивності аномального гравітаційного поля. Є підстави вважати, що за розподілом аномалій гравітаційного поля з'являється можливість прогнозувати антиклінальні підняття, які, після уточнення та деталізації іншими геолого-геофізичними методами, можна розглядати як перспективні газопушкові об'єкти. Це стосується й прогнозу солянокупольних піднять в аспекті прогнозування газових покладів.

Інтерпретація аномальних гравімагнітних полів у комплексі з геолого-тектонічними матеріалами є важливою методологічною умовою цілісного процесу пізнання геолого-тектонічної будови земної кори Закарпатського регіону. Дослідження геофізичних полів мають і практичне значення — сприяють виявленню структур та прогнозуванню перспектив їхньої нафтогазоносності.

Подяки. Дослідження виконані в рамках відомчої теми Карпатського відділення Інституту геофізики НАН України «Дослідження просторово-часових аномалій геомагнітних полів у Карпатському регіоні та їх зв'язку із сучасною динамікою літосфери» (2021—2025 рр.).

Список літератури

- Анікеєв С., Максимчук В. Уточнення геотектонічної будови та прогнозування перспективних зон нафтогазоносності Коломийського та Слобідколіснрянського палеовиступів за даними гравірозувідки. *Зб. наук. праць. Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища*. Ред. В. Ю. Максимчук. Львів: Растр-7, 2019. С. 6—8.
- Анікеєв С.Г., Максимчук В.Ю., Пилип'як М.М. Гравімагнітна модель Коломийської палеодоліни уздовж геотраверсу Надвірна-Отинія-Івано-Франківськ. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 6. С. 73—92. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190067>.
- Біліченко В.Я. Структурно-тектонічні особливості параавтохтона Українських Карпат та прилеглих територій за матеріалами детальної гравіметрії. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 1999. Т. 108. № 3. С. 131—138.
- Геология и полезные ископаемые Украинских Карпат. Ч. II*. Ред. Я.О. Кульчицкий, О.І. Матковский. Львов: Вища школа, 1977. 218 с.
- Глушко В.В. *Тектоника и нефтегазоносность Карпат и прилегающих прогибов*. Москва: Недра, 1968. 264 с.
- Гнилко О.М. Тектонічне районування Карпат у світлі терейнової тектоніки. Частина 1. Основні елементи Карпатської споруди. *Геодинаміка*. 2011. Т. 10. № 1. С. 47—57. <https://doi.org/10.23939/jgd2011.01.047>.
- Гнилко О.М. Структури латерального витискання в Карпатах. *Геодинаміка*. 2017. Т. 22. № 1. С. 16—25. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.018>.
- Дабагян Н.В., Круглов С.С., Смирнов С.С. Литология и стратиграфия мелового и палеогенового чехла зоны Закарпатских утесов. В кн.: *Матер. по геологии и нефтегазоносности Украины. Тр. УкрНИГРИ*. Вып. XIV. Москва: Недра, 1965. С. 78—84.
- Державна геологічна карта України М 1:200000, аркуш М-34-XXXV (Ужгород). Пояснювальна записка*. Б.В. Мацьків, Ю.В. Ковальов, Б.Д. Пукач, В.М. Воробканич. Київ: ДНВП Геоінформ України, 2003. 94 с.
- Державна геологічна карта України М 1:200000, аркуш М-34-XXXVI (Хуст). Пояснювальна записка*. Б.В. Мацьків, Б.Д. Пукач, В.М. Воробканич. Київ: ДНВП Геоінформ України, 2009. 94 с.
- Доленко Г.Н., Бойчевская Л.Т., Килын И.В., Улизо Б.М., Щерба А.С., Щерба В.М., Ярош Б.И. *Разломная тектоника Предкарпатского и Закарпатского прогибов и ее влияние на распределение залежей нефти и газа*. Киев: Наук. думка, 1976. 126 с.
- Заяць Х.Б. *Глибинна будова надр Західного регіону України на основі сейсмічних досліджень і напрямки пошукових робіт на нафту і газ*. Львів: УкрДГРІ, 2013. 136 с.
- Заяц Х.Б., Круглов С.С., Хижняков А.В. Глубинное строение зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Украинских Карпат. В кн.: *Строение литосферы вдоль Геотраверса II. Литосфера Центральной и Восточной Европы: Геотраверсы I, II, V*. Ред. В.Б. Соллогуб. Киев: Наук. думка, 1987. С. 97—101.
- Карта аномального магнітного поля України. Масштаб 1:200000*. Т.С. Нечаєва, В.М. Гаркавко, Л.М. Шимків, В.А. Єнтін. Київ: ПДРГП Північгеологія, 2002.
- Карта нафтогазогеологічного районування Західного регіону України. Масштаб 1:500000. Звіт. Геолого-економічна оцінка ресурсів вуглеводнів Західного і Південного нафтогазоносних регіонів України*. І.Б. Вишняков, М.Я. Вуль, Б.Б. Заволянський, В.О. Старинський, І.О. Гоник. Львів: Фонди ЛВ УкрДГРІ, 2007.
- Карта разрывных нарушений и основных зон линейных элементов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки). М 1:1000000*. Сост. М.Г. Распопова, И.Б. Вишняков, Л.С. Галецкий, Р.Г. Гарецкий, В.В. Глушко, П.М. Зозуля, С.С. Круглов, Г.Л. Кулаковский, В.И. Луцкий, А.В. Хижняков, Г.В. Чернявский, М.В. Чирвинская. Ред. Н.А. Крылов. Москва: Министерство нефтяной промышленности СССР, 1988.
- Круглов С.С. Тектоніка та геодинаміка Українських Карпат. *Геодинаміка*. 1998. Т. 1. № 1. С. 82—91.

- Круглов С.С., Смирнов С.Е., Спигковская С.М., Фильштинский Л.Е., Хижняков А.В. *Геодинамика Карпат*. Киев: Наук. думка, 1985. 136 с.
- Крупський Ю.З. *Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Погільського регіонів України*. Київ: УкрДГРІ, 2001. 144 с.
- Кузнецова В.Г., Максимчук В.Ю. Аномальне магнітне поле та його зв'язок з глибинною будовою і тектонікою Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2011. Т. 10. № 1. С. 127—133.
- 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>.
- Ляшкевич З.М., Медведев А.П., Варичев А.С. Геолого-тектонічне положення магматичних порід. В кн.: *Тектоно-магматична еволюція Карпат*. Київ: Наук. думка, 1995. С. 12—21.
- Маєвський Б.Й., Анікеєв С.Г., Мончак Л.С., Степанюк В.П., Хомин В.Р., Куровець С.С., Здерка Т.В., Манюк М.І. *Новітні дослідження геологічної будови і перспектив нафтогазоносності глибокостанурених горизонтів Українських Карпат*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. 208 с.
- Макаренко І., Савченко О., Дерерова Я., Муровська Г., Старостенко В., Бієлік М., Легостаєва О. Глибинна будова Закарпатського прогину (українська частина) за даними густинного моделювання. *Геофиз. журн.* 2023. Т. 45. № 4. С. 43—83. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i4.286285>.
- Мончак Л.С., Анікеєв С.Г. Відображення тектонічної будови західного регіону України у гравімагнітних полях. *Геодинаміка*. 2017. Т. 23. № 2. С. 104—118. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.104>.
- Мончак Л.С., Анікеєв С.Г. Перспективи нафтогазоносності піднасувних підняття у зоні Передкарпатського розлому. *Нафтогазова галузь України*. 2020. № 2. С. 20—24.
- Мончак Л.С., Анікеєв С.Г. Піднасувні підняття в Карпатському регіоні та перспективи їхньої нафтогазоносності. *Мінеральні ресурси України*. 2022. № 1. С. 34—42. <https://doi.org/10.31996/mgu.2022.1.34-42>.
- Орлюк М.І., Бакаржієва М.І., Марченко А.В. Магнітна характеристика і тектонічна будова земної кори Карпатської нафтогазотної області як складова частина комплексних критеріїв вуглеводнів. *Геофиз. журн.* 2022. Т. 44. № 5. С. 77—105. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i5.272328>.
- Пейве А.В. *Разломы и их роль в строении и развитии земной коры. В кн.: Структура земной коры и деформации горных порог*. Москва: Изд-во АН СССР, 1960. С. 67—72.
- Пейве А.В. Разломы и тектонические движения. *Геотектоника*. 1967. № 5. С. 8—24.
- Схема гравітаційного поля України. Масштаб 1:200000*. Т.С. Нечаєва, Л.М. Шимків, В.А. Єнтін. Київ: ПДРГП Північгеологія, 2002.
- Старостенко В.І., Койфман Л.І., Костюкевич А.С. Плотностная модель литосферы на участке Чернигов—Берегово. В кн.: *Строение литосферы вдоль Геотраверса II. Литосфера Центральной и Восточной Европы: Геотраверсы I, II, V*. Ред. В.Б. Соллогуб. Київ: Наук. думка, 1987. С. 67—74.
- Структурно-тектонічна карта західних областей України. Масштаб 1:200000*. Ред. Н.Д. Будеркевич, Є.С. Дворянин. Київ: ДГП УкрГеофізика, 1991.
- Субботин С.І. *Глубинное строение Советских Карпат и прилегающих территорий по данным геофизических исследований*. Киев: Изд. АН УССР, 1955. 260 с.
- Тектоника Украинских Карпат. Объяснительная записка к тектонической карте Украинских Карпат. М 1:200000*. Ред. С.С. Круглов. Киев: УкрНИГРИ, 1986. 152 с.
- Тектоническая карта Украинских Карпат. М 1:200000*. Ред. В.В. Глушко, С.С. Круглов. Киев: УкрНИГРИ, 1986.
- Хоменко В.І. *Глибинна будова Закарпатського прогину*. Київ: Наук. думка, 1971. 230 с.
- Чекунов А.В. *Структура земной коры и тектоника Европейской части СССР*. Киев: Наук. думка, 1972. 176 с.

- Шлапінський В.Є., Жабіна Н.М., Мачальський Д.В., Тернавський М.М. Геологічна будова Пенінського покриву Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2017. Т. 22. № 1. С. 55—73. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.057>.
- Anikeyev, S., Maksymchuk, V., & Pyrizhok, N. (2022). Density model of the earth crust of the Ukrainian Carpathians along the Pancake profile. *Geodynamics*, (2), 28—49. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.028>.
- Chorowicz, J. (2016). Genesis of the Pieniny Klippen Belt in the Carpathians: Possible effects of a major paleotransform fault in the Neo-Tethyan domain. *Comptes Rendus Geoscience*, 348, 15—22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2015.10.003>.
- Csontos, L., & Vörös, A. (2004). Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 210, 1—56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>.
- Kuderavets, R., Menshov, O., Maksymchuk, V., & Chobotok, I. (2019). Study of the dynamic of magnetic field and soil magnetism along the Malniv-Nemyriv-Uhniv transect. *XVIIIth Int. Conf. on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (Geoinformatics 2019)*, 13—16 May, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902032>.
- 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. *XIXth Int. Conf. on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (Geoinformatics 2020)*, 11—14 May, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo027>.
- Menshov, O., Kuderavets, R., Vygva, S., Chobotok, I., & Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 3, 1—14. <https://doi.org/10.1007/s11200-015-0705-4>.
- Murovskaya, A., Verpakhovska, O., Hnylko, O., Chorna, O., & Yegorova, T. (2023). Transcarpathian Depression: Study of Low-Velocity Zones in the Earth's Crust Based on the Seismic Regional Profiles Data. *Geofizicheskij Zhurnal*, 45(2), 30—43. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i2.278310>.
- 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. *Geofizicheskij Zhurnal*, 44(1), 111—123. <https://doi.org/10.24028/gzh.v44i1.253713>.

Structural and tectonic features of the Transcarpathian trough according to gravity and magnetic data

V.Yu. Maksymchuk¹, S.G. Anikeyev¹, L.S. Monchak², R.S. Kuderavets¹,
N.B. Pyrizhok¹, 2023

¹Carpathian Branch of S.I. Subbotin Institute of Geophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

²Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

Based on the analysis and interpretation of gravity and magnetic field anomalies, we studied the peculiarities of fault tectonics, structural-tectonic structure (including salt dome tectonics) of the Transcarpathian trough. We identified signs of the manifestation of deep faults and other large structural-tectonic elements in anomalies of gravity and magnetic fields. We then traced these structural-tectonic units by comparing the morphology, intensity, dimensions, and directions of the typical anomalous zones in the gravitational and magnetic fields with the tectonic structure of the region.

We used digital maps of gravitational and magnetic fields; averaging transforms and

relief-shadow images, we mapped local gravimagnetic anomalies. Analysis of the spatial structure of the original gravimagnetic fields and their transforms and structural-tectonic maps yielded a reflection of large tectonic elements of fault tectonics, anticlinal and salt dome structures in the gravimagnetic fields. Based on gravimagnetic data, the tectonic structure of the Transcarpathian trough was clarified, and the boundaries of tectonic zones and microplates were traced. The zone of the Transcarpathian deep fault is identified as a tectonic zone traced by a band of intense local positive anomalies of the gravity field along the Flysch Carpathians to the border of the Marmarosh massif. It is limited by high gradients from the southwest and northeast and is a reflection of the Pieniny and Marmarosh rock zones. The zone of the Transcarpathian deep fault is considered a suture zone of the Inner and Flysch Carpathians. In the structure of the anomalous gravity field of the Transcarpathian trough, a number of local anomalies associated with salt stocks, as well as individual anomalies, expected to be connected to salt-bearing deposits, were found.

We confirmed the effectiveness of gravimagnetic methods in the geological conditions of the Transcarpathian trough to detect anticlinal structures, basement protrusions, which create favorable conditions for oil and gas traps in sedimentary strata. Interpreting anomalous gravimagnetic fields in combination with geological and tectonic materials is an important condition for the integral process of studying the geological and tectonic structure of the Earth's crust in the Transcarpathian region.

Key words: Transcarpathian trough, Transcarpathian deep fault, fault tectonics, anticlinal structures, salt structures, local gravitational and magnetic anomalies.

References

- Anikeyev, S., & Maksymchuk, V. (2019). Refinement of the geotectonic structure and forecasting of promising oil and gas bearing zones of the Kolomyi and Slobidkolisnyan paleoledge based on the data of gravity prospecting. In V.Yu. Maksymchuk (Ed.), *Coll. of sci. works. Geophysics and geodynamics: forecasting and monitoring of the geological environment* (6—8 pp.). Lviv: Rastr-7 (in Ukrainian).
- Anikeyev, S.G., Maksymchuk, V.Yu., & Pylp'yak, M.M. (2019). Gravity-magnetic model of the Kolomyia paleovalley for the Nadvirna-Otyniya-Ivano-Frankivsk geotravers. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(6), 73—92. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190067> (in Ukrainian).
- Bilichenko, V. Ya. (1999). Structural and tectonic features of the para-autochthon of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories based on the materials of detailed gravimetry. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 108(3), 131—138 (in Ukrainian).
- Kulchytsky, Ya.O., & Matkovsky, O.I. (Eds.). (1977). *Geology and minerals of the Ukrainian Carpathians. Part II*. Lviv: Vyscha Shkola, 218 p. (in Russian).
- Glushko, V.V. (1968). *Tectonics and oil and gas potential of the Carpathians and adjacent troughs*. Moscow: Nedra, 264 p. (in Russian).
- Hnylko, O.M. (2011). Tectonic zoning of the Carpathians in terms of the terrane tectonics, section 1. Main units of the Carpathian building. *Geodynamics*, 10(1), 47—57. <https://doi.org/10.23939/jgd2011.01.047> (in Ukrainian).
- Hnylko, O.M. (2017). Structure of the lateral extrusion in the Carpathians. *Geodynamics*, 22(1), 16—25. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.018> (in Ukrainian).
- Dabagyan, N.V., Kruglov, S.S., & Smirnov, S.E. (1965). Lithology and stratigraphy of Cretaceous and Paleogene cover rocks of the Transcarpathian cliffs area. *Materials on the Geology and petroleum potential of Ukraine. Proc. UkrNIGRI* (Is. XIV, pp. 78—84). Moscow: Nedra (in Russian).
- State geological map of Ukraine M 1:200000. Sheet M-34-XXXV (Uzhhorod). Explanatory note*. B.V. Matskiv, Yu.V. Kovalev, B.D. Pukach, V.M. Vorobkanych. (2003). Kyiv: SRDE Geoinform of Ukraine, 94 p. (in Ukrainian).
- State geological map of Ukraine M 1:200000. Sheet M-34-XXXVI (Khust). Explanatory note*. B.V. Matskiv, B.D. Pukach, V.M. Vorobkanych.

- (2009). Kyiv: SRDE Geoinform of Ukraine, 94 p. (in Ukrainian).
- Dolenko, G.N., Boychevskaya, L.T., Kilyn, I.V., Ulizlo, B.M., Shcherba, A.S., Shcherba, V.M., & Yarosh, B.I. (1976). *Fault tectonics of the Precarpathian and Transcarpathian troughs and its influence on the distribution of oil and gas deposits*. Kiev: Naukova Dumka, 126 p. (in Russian).
- Zayats, Kh.B. (2013). *The Structure of Minerals of the Western Region of Ukraine on the Basis of Seismic Studies and the Directions for Oil and Gas Exploration Study*. Lviv: USGEL, 136 p. (in Ukrainian).
- Zayats, Kh.B., Kruglov, S.S., & Khizhnyakov, A.V. (1987). Deep structure of the junction zone between the East European Platform and the Ukrainian Carpathians. In V.B. Sollogub (Ed.), *Lithosphere structure along the Geotraverse II. Lithosphere of Central and East Europe. Geotraverse I, II, V* (pp. 97—101). Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Map of the anomalous magnetic field of Ukraine. 1:200000*. T.S. Nechaeva, V.M. Garkavko, L.M. Shimkiv, V.A. Yentin. (2002). Kyiv: PDRHP Pivnichheolohiia (in Ukrainian).
- Map of oil and gas geological zoning of the Western region of Ukraine. 1:500000. Report. Geological and economic assessment of hydrocarbon resources of the Western and Southern oil and gas regions of Ukraine*. I.B. Vyshnyakov, M.Ya. Vul, B.B. Zavolyanskyi, V.O. Starynskyi, I.O. Honyk. (2007). Lviv: Funds of LV UkrDHRI (in Ukrainian).
- Map of faults and main zones of lineaments in the southwest of the USSR (using satellite imagery). 1:1000000*. M.G. Raspopova, I.B. Vishnyakov, L.S. Galetsky, R.G. Garetsky, V.V. Glushko, P.M. Zozulya, S.S. Kruglov, G.L. Kulakovskiy, V.I. Lutskin, A.V. Khizhnyakov, G.V. Chernyavsky, M.V. Chirvinskaya. Ed. N.A. Krylov. (1988). Moscow: USSR Ministry of Oil Industry (in Russian).
- Kruglov, S.S. (1998). Tectonics and geodynamics of the Ukrainian Carpathians. *Geodynamics*, 1(1), 82—91 (in Ukrainian).
- Kruglov, S.S., Smirnov, S.E., Spigkovskaya, S.M., Filshinsky, L.E., & Khizhnyakov, A.V. (1985). *Geodynamics of the Carpathians*. Kiev: Naukova Dumka, 136 p. (in Russian).
- Krupskiy, Yu.Z. (2001). *Geodynamic conditions of formation and oil-and-gas potential of the Carpathian and Volyn-Podilskiy regions of Ukraine*. Kyiv: UkrDHRI, 144 p. (in Ukrainian).
- Kuznetsova, V.H., & Maksymchuk, V.Yu. (2011). The anomalous magnetic field and its relationship with the deep structure and the tectonics of the Ukrainian Carpathians. *Geodynamics*, 10(1), 127—133 (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).
- Lyashkevich, Z.M., Medvedev, A.P., & Varychev, A.S. (1995). Geological and tectonic position of igneous rocks. In *Tectono-magmatic evolution of the Carpathians* (pp. 12—21). Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Mayevsky, B.J., Anikeyev, S.G., Monchak, L.S., Stepaniuk, V.P., Khomin, V.R., Kurovets, S.S., Zderka, T.V., & Manyuk, M.I. (2012). *Recent studies of the geological structure and prospects of oil and gas horizons deeply immersed Ukrainian Carpathians*. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 208 p. (in Ukrainian).
- Makarenko, I., Savchenko, O., Dererova, J., Mudivska, A., Starostenko, V., Bielik, M., & Legostaeva, O. (2023). Depth structure of the Transcarpathian depression (Ukrainian part) according to density modeling data. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45(4), 43—83. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i4.286285> (in Ukrainian).
- Monchak, L.S., & Anikeyev, S.G. (2017). Reflection of the tectonic structure of the western region of Ukraine in gravimagnetic fields. *Geodynamics*, 23(2), 104—118. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.104> (in Ukrainian).
- Monchak, L.S., & Anikeyev, S.G. (2020). Prospects of oil and gas capacity of under-thrust uplifts in the Precarpathian fault zone. *Oil and gas industry of Ukraine*, (2), 20—24 (in Ukrainian).
- Monchak, L.S., & Anikeyev, S.G. (2022). Uplifts under-thrust in the Carpathians region and their prospects for oil and gas potential. *Mineral resources of Ukraine*, (1), 34—42. <https://doi.org/10.31996/mru.2022.1.34-42> (in Ukrainian).

- Orlyuk, M.I., Bakarjjeva, M.I., & Marchenko, A.V. (2022). Magnetic characteristics and tectonic structure of the Earth's crust of the Carpathian oil and gas region as a component of complex hydrocarbon criteria. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 44(5), 77—105. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i5.272328> (in Ukrainian).
- Peyve, A.V. (1960). *Faults and their role in the structure and development of the earth's crust. In the book: Structure of the Earth's Crust and Deformations of Rocks* (pp. 67—72). Moscow: Publ. House of the Academy of Sciences of the USSR (in Russian).
- Peyve, A.V. (1967). Faults and tectonic motions. *Geotektonics*, (5), 8—24 (in Russian).
- Scheme of the gravity field of Ukraine*. Scale 1:200000. T.S. Nechaeva, L.M. Shimkiv, V.A. Entin. (2002). Kyiv: PDRHP *Pivnichheolohiia* (in Ukrainian).
- Starostenko, V.I., Koifman, L.I., & Kostyukovich, A.S. (1987). Density model of the lithosphere in the Chernihiv-Berehove area. In V.B. Sollogub (Ed.), *Lithosphere structure along the Geotraverse II. Lithosphere of Central and East Europe. Geotraverses I, II, V* (pp. 67—74). Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Buderkevich, N.D., & Dvoryanin, E.S. (Eds.) (1991). *Structural and tectonic map of the western regions of Ukraine. 1:20000*. Kyiv: DGP UkrGeofizyka (in Ukrainian).
- Subbotin, S.I. (1955). *Deep structure of the Soviet Carpathians and adjacent territories according to geophysical research data*. Kyiv. Publ. House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 260 p. (in Russian).
- Kruglov, S.S. (Ed.). (1986). *Tectonics of the Ukrainian Carpathians. Explanatory note for tectonic map of the Ukrainian Carpathians. 1:200000*. Kyiv: UkrDHRI Publ., 152 p. (in Russian).
- Glushko, V.V., & Kruglov, S.S. (Eds.). (1986). *Tectonics of the Ukrainian Carpathians. 1:200000*. Kiev: UkrDHRI Publ. (in Russian).
- Khomenko, V.I. (1971). *Deep structure of Transcarpathian trough*. Kyiv: Naukova Dumka, 230 p. (in Ukrainian).
- Chekunov, A.V. (1972). *The structure of the earth's crust and tectonics of the European part of the USSR*. Kiev: Naukova Dumka, 176 p. (in Russian).
- Shlapinskyi, V.Ye., Zhabina, N.M., Machal'skyi, D.V., & Ternavskyi, M.N. (2017). Geological structure of Peninic nappe of Ukrainian Carpathians. *Geodynamics*, 22(1), 55—73. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.01.057> (in Ukrainian).
- Anikeyev, S., Maksymchuk, V., & Pyrizhok, N. (2022). Density model of the earth crust of the Ukrainian Carpathians along the Pancake profile. *Geodynamics*, (2), 28—49. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.028>.
- Chorowicz, J. (2016). Genesis of the Pieniny Klippen Belt in the Carpathians: Possible effects of a major paleotransform fault in the Neotethyan domain. *Comptes Rendus Geoscience*, 348, 15—22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2015.10.003>.
- Csontos, L., & Vörös, A. (2004). Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 210, 1—56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>.
- Kuderavets, R., Menshov, O., Maksymchuk, V., & Chobotok, I. (2019). Study of the dynamic of magnetic field and soil magnetism along the Malniv-Nemyriv-Uhniv transect. *XVIIIth Int. Conf. on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (Geoinformatics 2019), 13—16 May, Kyiv, Ukraine*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902032>.
- 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. *XIXth Int. Conf. on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects (Geoinformatics 2020), 11—14 May, Kyiv, Ukraine*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo027>.
- Menshov, O., Kuderavets, R., Vygva, S., Chobotok, I., & Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 3, 1—14. <https://doi.org/10.1007/s11200-015-0705-4>.
- Murovskay, A., Verpakhovska, O., Hnylko, O., Chorna, O., & Yegorova, T. (2023). Transcarpathian Depression: Study of Low-Velocity

Zones in the Earth's Crust Based on the Seismic Regional Profiles Data. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45(2), 30—43. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i2.278310>.

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. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 44(1), 111—123. <https://doi.org/10.24028/gzh.v44i1.253713>.