

# Хмільницький структурно-тектонічний вузол (Український щит) та його геолого-геофізична сутність

В.А. Єнтін<sup>1</sup>, О.Б. Гінтов<sup>2</sup>, С.І. Гуськов<sup>1</sup>, С.В. Мичак<sup>2</sup>,  
О.В. Павлюк<sup>3</sup>, Д.В. Залізняк<sup>2</sup>, 2025

<sup>1</sup>Державне підприємство «Українська геологічна компанія», Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

<sup>3</sup>Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна

Надійшла 12 травня 2025 р.

Хмільницький структурно-тектонічний вузол є неординарним для Українського щита випадком наявності в його південно-західній частині (Бердичівське підняття), на перетині трьох глибинних розломів, яскраво проявленої глибинно-проникної ділянки кристалічного фундаменту (термоблеми). Її умовна протяжність із заходу на схід становить близько 40 км, а епіцентр припадає на Хмільницький гравітаційний мінімум розміром 25×25 км та відносною інтенсивністю –16 мГал, який збігається з областю зниженої інтенсивності магнітного поля. За результатами комплексної геолого-геофізичної інтерпретації природа мінімуму обумовлена проявом серед гранітоїдів бердичівського комплексу локального осередку протерозойського кислого магматизму, представленого грибоподібним масивом лейкогранітоїдів гранатбіотитового складу, який простежено до глибини 15 км, тобто до зони існування можливого гранітного розплаву. Грибоподібна форма тіла гранітоїдів, густина яких менша за густину бердичівських гранітів на 0,1 г/см<sup>3</sup>, пояснюється субгоризонтальним проникненням розплаву в приповерхневій частині кори у вигляді силів. Магматична діяльність у межах масиву та його ендо-екзоконтактах супроводжується глибинною дегазацією у вигляді радонових еманцій і проявами уранової мінералізації. Площа всього Хмільницького структурно-тектонічного вузла характеризується численними проявами дайкового габро-діабазового магматизму протерозойського віку, контрастними ореолами індикаторних мінералів кімберлітів і уламками алмазів в осадовому чохлаі.

Наведено докладні петрологічні та геохімічні характеристики гранатів взагалі і піропів зокрема. Показано, що гранати району досліджень мають коро-мантієне походження. Серед них виявлено гранати, які за хімічним складом і колориметричними параметрами ідентичні гранатам алмазоносних бімінеральних еклогітів з кімберлітів алмазоносних провінцій світу. Серед піропів переважають гранати помаранчевого кольору, що засвідчує високий вміст різновидів еклогітової асоціації. Встановлено більше десятка ореолів піропів, розміри яких не менші від розмірів ореола піропів всесвітньо відомого родовища Снеп-Лейк (Канадський щит). Наведено геолого-геофізичні чинники і значна проникність кристалічного фундаменту вузла дають важливі аргументи до його віднесення до ділянки першої черги на пошуки в межах Бердичівського підняття можливих корінних джерел алмазів базит-ультрабазитового, зокрема кімберліт-лампроїтового магматизму.

**Ключові слова:** Український щит, Хмільницький гравітаційний мінімум, лейкогранітна інтрузія, тривимірна густинна модель, радонові джерела, уранові прояви, лужні габро-діабази, алмази.

Citation: Yentin, V.A., Gintov, O.B., Guskov, S.I., Mychak, S.V., Pavliuk, O.V., & Zalizniak, D.V. (2025). The Khmilnyk structural and tectonic unit and its geological and geophysical essence. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(4), 15–37. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i4.329385>.

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

**Вступ.** Хмільницький структурно-тектонічний вузол (ХСТВ) розміщується в межах так званого Бердичівського підняття Подільського мегаблока Українського щита (УЩ) у верхів'ях р. Південний Буг та його приток — річок Домахи, Ікви, Сніводи, Хвосо, Вовка. Це площа південно-східної частини аркуша М-35-XXII (Старокостянтинів), достатньо добре вивченої геологічним зніманням масштабів 1:200 000 [Стрелкова и др., 1960; Почтаренко, Бочай, 1971; Державна..., 2007б], 1:50 000 [Иванченко и др., 1969; Пийяр, Подтелок, 1974; Рыбалт, 2002], пошуковими роботами на радонові води, уран, рідкісні метали, алмази [Герасимов, 1960; Лавров, Щербак, 1963; Иванов и др., 1974; Мызников, Грищенко, 1982; Рыбалт, 2002; Довгань та ін., 2004, 2008 та ін.]. Геологічним дослідженням завжди передували і супроводжували їх геофізичні, які в цьому регіоні виконувалися під керівництвом Н.І. Ушакової [Ушакова, Цимбал, 1959], А.В. Тесленка [Тесленко, Соколова, 1959], В.М. Єгорова [Егоров, 1959], О.Л. Поливанчука [Поливанчук, Беланов, 1960], Ю.Г. Герасимова [Герасимов, 1960], О.Г. Яненка [Яненко и др., 1966], Б.С. Германова [Германов и др., 1988], Д.І. Плохотниченка [Плохотниченко, 1969], В.А. Єнтіна [Довгань та ін., 2008].

Основою ХСТВ є кристалічний фундамент УЩ, породи якого виходять на поверхню в долинах річок і розкриті численними свердловинами. Це переважно гранітоїди бердичівського комплексу з останцями гранат-біотитових гнейсів, рідше ендербітами. І лише в межах невеликих за розмірами позитивних магнітних аномалій ізометричної і овалоподібної форми трапляються метагаброїди — клінопіроксенові та двопіроксенові кристалосланці. В асоціації з метагаброїдами виявлено невеликої потужності метасоматичні сієнітоподібні і карбонатні породи типу кальцифірів. Наявні тут лінійні аномалії амплітудою приблизно 1000 нТл обумовлені лужними дайками габро-діабазів згідного залягання серед незвичної для цього району УЩ лейкократової гранітоїдної матриці. У центрі ХСТВ розміщується масив лейкократових

гранат-біотитових гранітів хмільницького комплексу, якому в цій статті приділено першочергову увагу. На вододілах кристалічний фундамент перекритий осадовим чохлам, складеним алювіальними пісками і глинами бучацької серії палеогену, прибережно-морськими відкладами середнього сармату, алювіальними відкладами пліоцену і четвертинними суглинками, рідко флювіогляціальними і алювіальними пісками.

Як унікальний геолого-геофізичний об'єкт ХСТВ звернув на себе увагу і був уперше виділений в процесі підготовки геофізичної основи [Єнтін та ін., 2002] (рис. 1) для Тектонічної карти масштабу 1:1 000 000 [Тектонічна..., 2007]. Його найбільш яскравою прикметою є наявність контрастно вираженого субізометричного мінімуму сили тяжіння діаметром близько 25 км, розташованого на перетині трьох великих тектонічних лінеamentів західної частини УЩ — Хмільницької зони розломів північно-західного простягання, Білокоровицько-Яблунівської субмеридіональної і Хмельницької субширотної (рис. 1, 2). Характерною геологічною ознакою поверхні кристалічного фундаменту в межах площі цього мінімуму є наявність масиву гранітоїдів рідкісного лейкократового вигляду (рис. 3), які отримали назву хмільницьких і після довгої наукової полеміки виділені в самостійний хмільницький алохтонний інтрузивний комплекс. Не випадковими для цього мінімуму і зони його зовнішнього обрамлення є відомі там природні радонові джерела, прояви уранової мінералізації і наявність широкого спектра різнобічних ознак можливої наявності тут корінних джерел алмазів екологічної асоціації (див. далі). Незважаючи на проведення в цьому районі численних виробничих робіт геолого-знімального і пошукового характеру, а також наукових досліджень, мало хто з їх виконавців пов'язував у єдине ціле всі встановлені тут неординарні для УЩ геолого-геофізичні чинники. Виправленню та доповненню саме цих обставин присвячена значна частина нашого дослідження. Також його метою вже в котрий

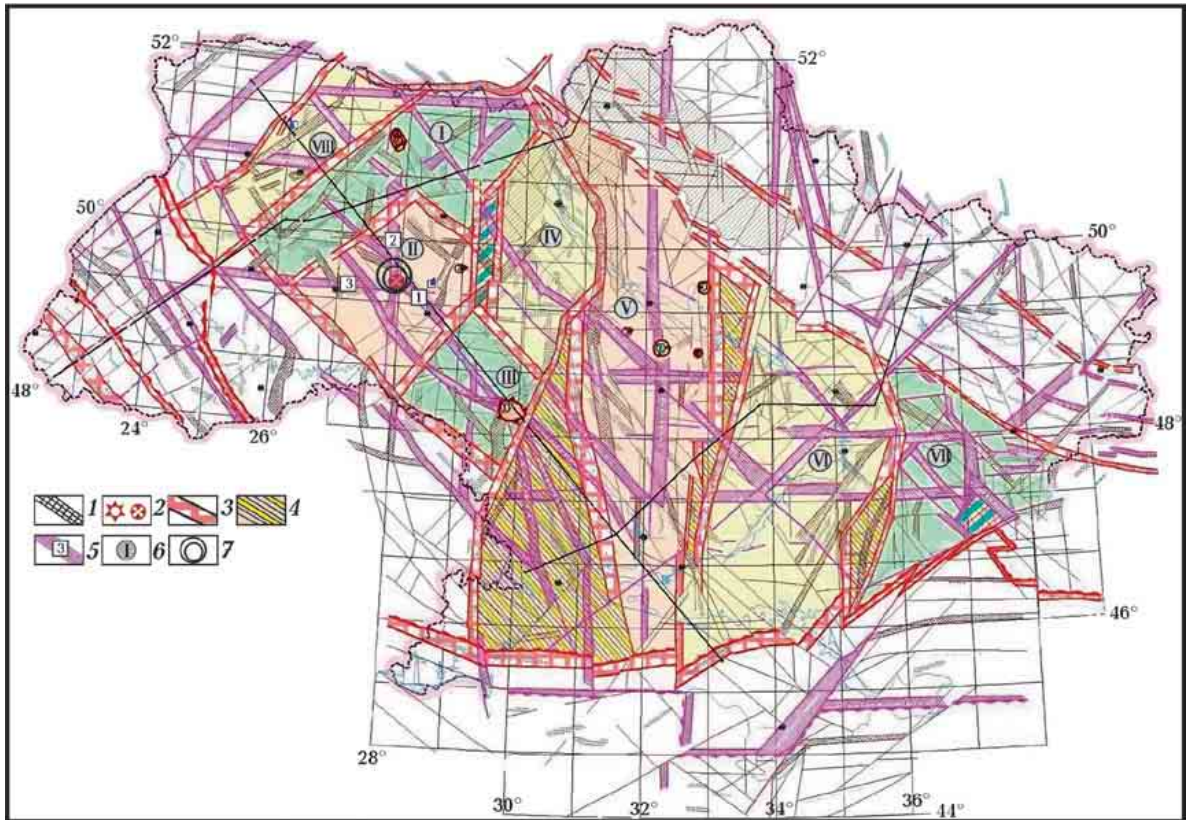


Рис. 1. Геофізична основа Тектонічної карти України, за [Єнтин та ін., 2002]: 1 — зони лінійних мінімумів  $\Delta q_{\text{лок}}$ ; 2 — локалізовані ізометричні максимуми і мінімуми  $\Delta q_{\text{лок}}$ ; 3 — глибинні міжмегаблокові зони розломів I рангу; 4 — шовні зони I та II рангу; 5 — глибинні внутрішньоблокові зони розломів II рангу; 6 — мегаблоки Українського щита (I — Волинський, II — Подільський, III — Бузький, IV — Росинський, V — Інгульський, VI — Середньопридніпровський, VII — Приазовський, VIII — Осницько-Мікашевицький вулканоплутонічний пояс); 7 — район досліджень.

Fig. 1. Geophysical basis of the Tectonic Map of Ukraine, according to [Yentyn et al., 2002]: 1 — zones of linear minima  $\Delta q_{\text{лок}}$ ; 2 — localized isometric maxima and minima of  $\Delta q_{\text{лок}}$ ; 3 — deep interblock fault zones of the first rank; 4 — suture zones of the I and II rank; 5 — deep intrablock fault zones of the second rank; 6 — Domains of the Ukrainian Shield (I — Volyn, II — Podolian, III — Bug, IV — Ros', V — Inhul, VI — Middle Dnieper, VII — Azov, VIII — Osnytsk-Mikashevychi volcanic-plutonic belt); 7 — research area.

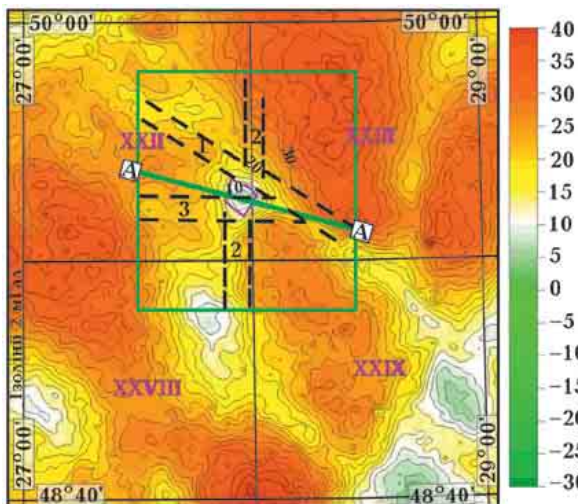


Рис. 2. Оглядова гравіметрична карта (аномалії Буге,  $\sigma=2,3 \text{ г/см}^3$ ) масштабу 1:200 000 району Хмельницького мінімуму. Переріз ізоаномал — 2 мГал. Зелений квадрат — контур рис. 4. Зони розломів: 1 — Хмельницька, 2 — Білорівчицько-Яблунівська, 3 — Хмельницька. А—А — інтерпретаційний профіль див. на рис. 11.

Fig. 2. Overview gravity map of the Khmilnyk Minimum (Bouguer anomaly,  $\sigma=2.3 \text{ g/cm}^3$ , section isoline — 2 mGal), 1:200 000. The green square is the outline in Fig. 4. Fault zones: 1 — Khmilnyk, 2 — Bilokorovychy-Yablunivka, 3 — Khmelnytsk. A—A — interpretive profile in Fig. 11.

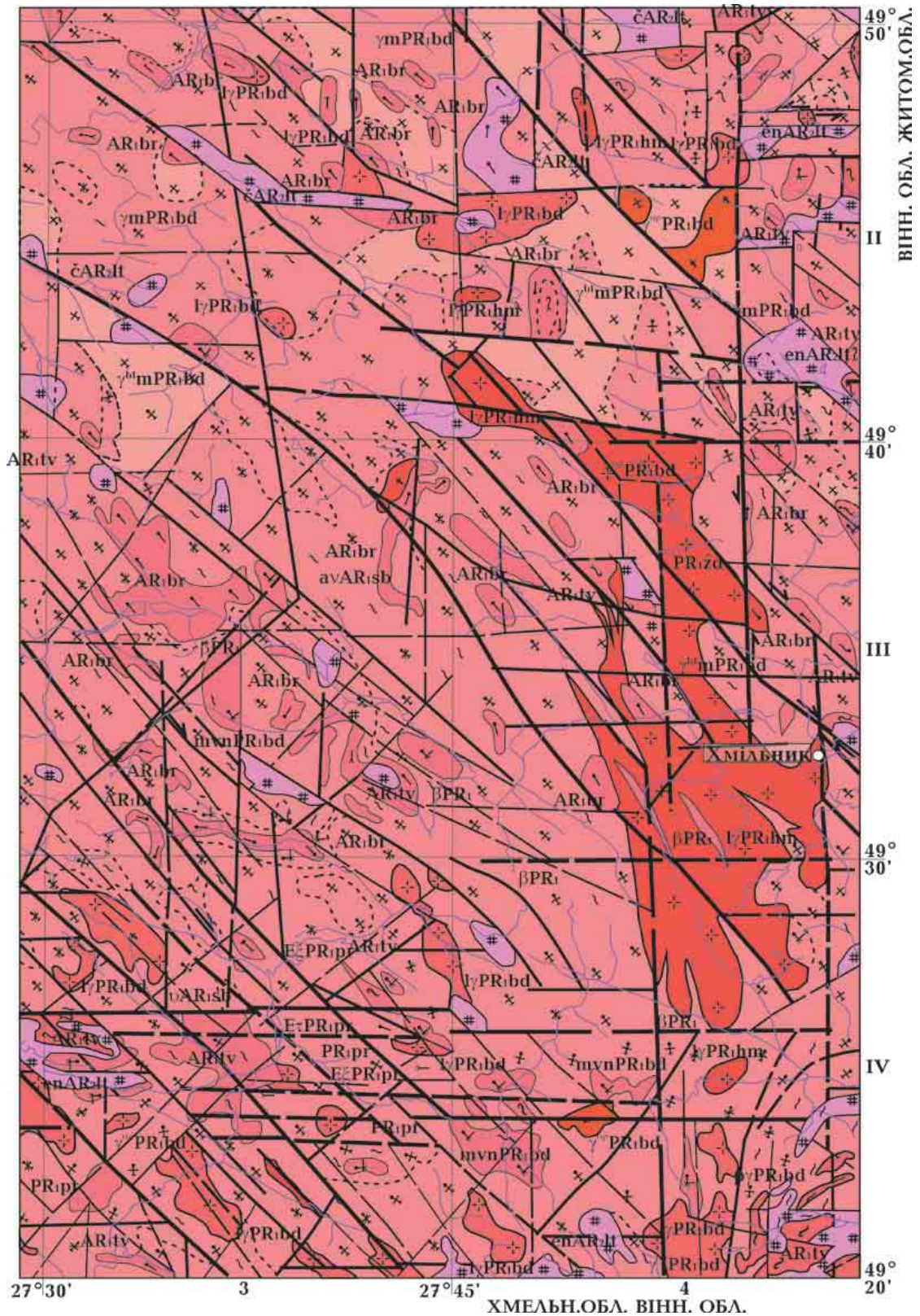


Рис. 3. Фрагмент Геологічної карти домезозойських утворень листа М-35-XXII (Старокостянтинів) [Державна..., 2007б], на якому відображено Хмельницький масив лейкократових та апліт-пегматоїдних і пегматоїдних гранітів (густо-червоний колір). Хмельницький комплекс:  $l\gamma PR_1hm$  — граніти лейкократові,  $l\gamma PR_1hm$  — граніти пегматоїдні та апліт-пегматоїдні; бердичівський комплекс:  $m\gamma n PR_1bd$  — мігматити і граніти гранат-

біотитові з гіперстеном (вінницити);  $\gamma\text{bt}$ ,  $\gamma\text{m}\text{btPR}_1\text{bd}$  — граніти та мігматити біотитові;  $\gamma\text{PR}_1\text{bd}$  — граніти гранат-біотитові, часто з кордієритом чудново-бердичівські;  $\rho\gamma\text{PR}_1\text{bd}$  — плагіограніти;  $\rho\gamma\text{m}\text{PR}_1\text{bd}$  — плагіомігматити гранат-біотитові, інколи з кордієритом;  $\text{l}\gamma\text{PR}_1\text{bd}$  — граніти лейкократові;  $\gamma^{\text{ap}}\text{PR}_1\text{bd}$  — граніти апліт-пегматоїдні, пегматоїдні. *Інші умовні знаки:* товщі і комплекси:  $\text{AR}_1\text{tv}$  — тиврівська товща,  $\text{AR}_1\text{br}$  — березнинська товща;  $\text{enAR}_2\text{lt}$  — ендербіти літинського комплексу,  $\text{cAR}_2\text{lt}$  — чарнокіти літинського комплексу,  $\text{PR}_1\text{pr}$  — проскурівський комплекс. Корисні копалини показано окремо, див. рис. 7.

Fig. 3. Fragment of the Geological map of the Pre-Mesozoic formations of sheet M-35-XXII (Starokostiantyniv) [State..., 20076], which shows the Khmilnyk massif of leucocratic and aplitic-pegmatoid and pegmatoid granites (deep red). *The Khmilnyk complex:*  $\text{l}\gamma\text{PR}_1\text{hm}$  — leucocratic granites,  $\text{i}\rho\gamma\text{PR}_1\text{hm}$  — pegmatoid and aplitic-pegmatoid granites; *the Berdychiv complex:*  $\text{mvn}\text{PR}_1\text{bd}$  — migmatites and granites of garnet-biotite with hypersthene (vincites);  $\gamma\text{bt}$ ,  $\gamma\text{m}\text{bt}\text{PR}_1\text{bd}$  — granites and migmatites of biotite;  $\gamma\text{PR}_1\text{bd}$  — granites of garnet-biotite, often with cordierite, Chudново-Berdychiv;  $\rho\gamma\text{PR}_1\text{bd}$  — plagiogranites;  $\rho\gamma\text{m}\text{PR}_1\text{bd}$  — plagiomigmatites of garnet-biotite, sometimes with cordierite;  $\text{l}\gamma\text{PR}_1\text{bd}$  — leucocratic granites;  $\gamma\text{ap}\text{PR}_1\text{bd}$  — aplite-pegmatoid, pegmatoid granites. *Other symbols:* formations and complexes:  $\text{AR}_1\text{tv}$  — Tyvrivka formation,  $\text{AR}_1\text{br}$  — Bereznynska formation;  $\text{enAR}_2\text{lt}$  — enderbites of the Lityn complex,  $\text{cAR}_2\text{lt}$  — charnockites of the Lityn complex,  $\text{PR}_1\text{pr}$  — Proskurivka complex. Minerals are shown separately in Fig. 7.

раз [Ентин, 2012; Ентин и др., 2015, 2020; Гінтов та ін., 2018; Єнтин та ін., 2023а,б] є намагання звернути увагу геологів і геофізиків на значну роль докембрійських магматичних структур центрального типу в становленні будови щита і формуванні родовищ корисних копалин.

**Хмільницький мінімум і хмільницькі граніти.** Уперше Хмільницький мінімум

сили тяжіння був виявлений за даними гравітаційного знімання масштабу 1:200 000 (див. рис. 2) [Поливанчук, Беланов, 1960]. Виконавці припустили, що таким аномаліям можуть відповідати ерозійні виступи давньої синклінальної складчастості, які представлені більш молодими інтрузивними утвореннями. Пізніше, під час пошукових робіт на радонові води в районі м. Хмільник, а також підготовки геофізичної основи для геологічного знімання масштабу 1:50 000, аномалія і північно-західна та південна область її обрамлення були детальніше вивчені за результатами гравіметричного знімання масштабу 1:50 000 (рис. 4), магніторозвідки масштабу 1:10 000 та різнометодної профільної електророзвідки [Яненко и др., 1966; Германов и др., 1988].

Найбільш змістовною і методично виправданою з усіх польових геофізичних досліджень ХСТВ стала робота [Яненко и др., 1966], яка проводилась для підготовки району Хмільницького родовища радонових вод до подальших геолого-гідрогеологічних досліджень. При цьому одним з важливих чинників підвищення її геологічної ефективності стало раціональне комплексування геофізичних методів (гравірозувідка площова по мережі 250×250 м і градієнтметрична профільна, магніторозвідка 100×50 м, профільна електророзвідка методами комбінованого профілювання та викликаній поляризації, які оперативно супроводжувались бурінням інтерпрета-

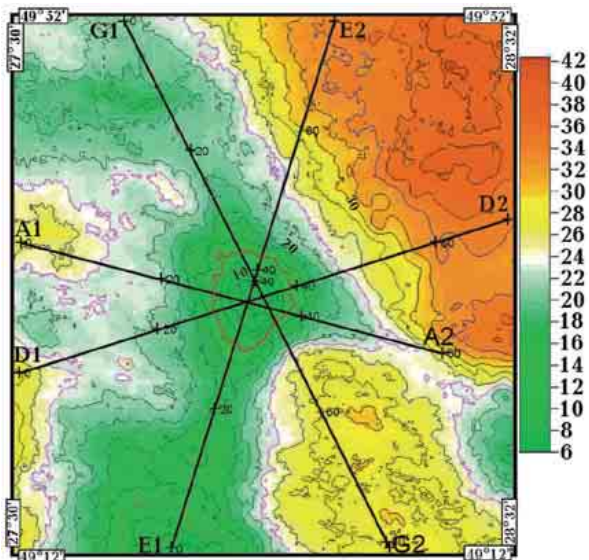


Рис. 4. Карта ізоаномал сили тяжіння району Хмільницького мінімуму (аномалії Буге,  $\sigma=2,3 \text{ г/см}^3$ ). Переріз ізоаномал — 2,0 мГал. Червона ізоаномала — 24 мГал. Інтерпретаційні профілі А1—А2, D1—D2, G1—G2 і E1—E2 з пікетами.

Fig. 4. Map of gravity isoanomalies in the Khmilnyk minimum (Bouguer anomalies,  $\sigma=2.3 \text{ g/cm}^3$ ). The isoanomaly cross-section is 2.0 mGal. The red isoanomaly is 24 mGal. Interpretation profiles A1—A2, D1—D2, G1—G2 and E1—E2 with pickets.

ційних свердловин. Завдяки цьому при визначенні бурінням геологічної природи лінійних мінімумів сили тяжіння, які досягали амплітуди в десятки етвеш (1 етвеш —  $10^{-9} \text{ с}^{-2}$ ) і просторово збігались із зонами підвищеної електричної провідності, у породах кристалічного фундаменту інтерпретаційним бурінням було виявлено яскраві ознаки тектонічних процесів, а саме: значна тріщинуватість, мілонітизація, брекчіювання, утворення кори вивітрювання великої потужності на рівні 40—60 м, на фоні яких наявні локальні «кишені» завглибшки більш як 100 м (одна з свердловин, яка не досягнула щільних кристалічних порід, була закрита на глибині 210 м). Комплексування методів електророзвідки комбінованого профілювання і викликаної поляризації дало можливість виокремити серед виявлених аномалій електропровідності зумовлені графітизацією породи кристалічного фундаменту, що і було підтверджено даними інтерпретаційного буріння. За цими даними в межах Хмельницького мінімуму і його західного обрамлення автори виділили Соколівську, Думенську, Березнинську розломні зони (див. далі — на рис. 7), які фактично є зонами сколювання Хмельницької тектонічної зони коромантійного закладання. У свердловинах інтерпретаційного буріння Соколівської ділянки гамма-каротажем переважно в корі вивітрювання були також встановлені інтервали підвищеної радіоактивності на рівні 200—400 мкР/год уранової природи, а саму ділянку рекомендовано на пошуки уранових руд.

Сучасний аналіз усіх існуючих даних гравірозвідки і магніторозвідки показав, що Хмельницький субізотричний мінімум сили тяжіння з відносною амплітудою  $-16$  мГал і розмірами  $25 \times 25$  км має складну внутрішню структуру. Контрастність мінімуму підсилюється його розташуванням між регіональними максимумами сили тяжіння інтенсивністю до 30—40 мГал: на півдні та південному заході — Літинським і Меджибізьким, на північному сході — Іванопільським, на заході — Старосинявським (див. рис. 2). Зони розломів, на перетині

яких він розташований, у гравітаційному полі аномалій Буге (див. рис. 2, 4) також виділяються у вигляді лінійних мінімумів сили тяжіння, тому потрібно враховувати, що Хмельницький мінімум є накладенням двох мінімумів — власного та розломів. Розломи впливають і на контури мінімуму (рис. 4), обмежуючи його практично прямолінійними ізолініями: з північного сходу (ізолінії 21, 22), заходу (ізолінії 18—19) та південного сходу (ізолінії 15—16), надаючи йому форму полігональної фігури розміром близько  $20 \times 20$  км. Тільки починаючи з ізолінії 13 мГал мінімум набуває округлої форми діаметром близько 10 км. Саме О.Г. Яненком зі співавторами за результатами проведеної інтерпретації було висловлене припущення, що геологічна природа мінімуму може бути обумовлена наявністю куполоподібного штоку лейкократових гранітів («гранулітів») з приблизною від'ємною залишковою густиною (порівняно з чудново-бердичівськими гранітами)  $0,1 \text{ г/см}^3$ , верхній край якого знаходиться на глибині 700 м (не виключали й вихід у деяких місцях на поверхню кристалічного фундаменту). Не припускаючи тут існування структури складнішої форми, автори вважали, що центральна (високоградієнтна) частина мінімуму не пов'язана з цим глибинним об'єктом, а може бути обумовлена наявністю у поверхневій частині кристалічного фундаменту ще одної молоді інтрузії (типу жильних червоних гранітів).

У магнітному полі Хмельницький мінімум виокремлюється не так яскраво, але всеж таки йому відповідає значний за площею мінімум  $(\Delta T)_a(Z_a)$  інтенсивністю від  $-300$  до  $-350$  нТл на фоні загальної субширотної від'ємної за знаком аномалії від  $-250$  до  $-300$  нТл (рис. 5). Ця субширотно від'ємна аномалія завширшки 20—30 км являє собою елемент північного обмеження так званого Хмельницько-Одеського архейського ортократону [Довгань та ін., 2009] овалоїдної форми розміром  $680 \times 400$  км, який добре проглядається на покращеній магнітній моделі Євразії на епоху 2015 р. [Chulliat et al., 2015] (рис. 6).

Пізніше як окремий тип порід гранітоїди району м. Хмільник та його околиць (рожеві біотитові апліт-пегматоїдні і сірі середньо-дрібнозерністі гранат-біотитові) виділив М.П. Щербак [Щербак, 1975], і відніс їх до побузького комплексу, вважаючи молодшими за гранітоїди бердичівського комплексу, серед яких вони залягають. Якщо перші утворюють невеликі тіла і трапляються повсюдно серед порід бердичівського комплексу і чарнокітоїдів, то другі нанесені автором на схематичну карту лише в районі м. Хмільник — одне тіло, протяжністю близько 20 км, знаходиться на південному заході від міста, інше, протяжністю близько 10 км, — на північному сході (саме ці граніти ми будемо називати хмільницькими). Обидва тіла простягаються у північно-західному напрямку субзгідно з біотит-гранатовими мігматитами бердичівського комплексу. Автор вважає граніти побузького комплексу західної частини УЩ, в тому числі хмільницькі, алохтонними, тому що вони утворюють серед бердичівських гранітів і мігматитів тіла неправильної форми, іноді субзгідні, але часто мають січні контакти з останніми [Щербак, 1975].

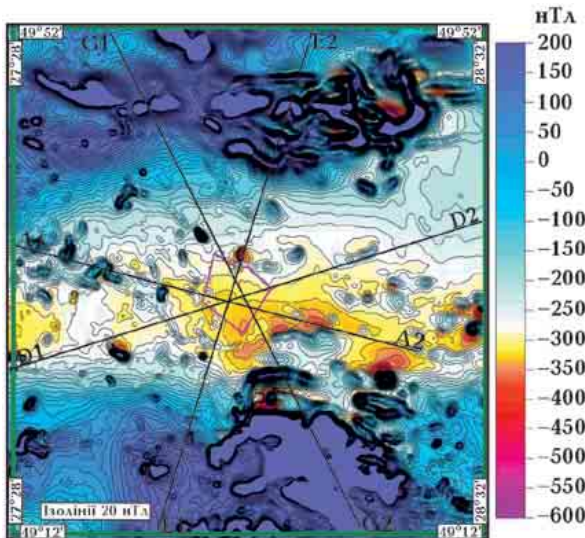


Рис. 5. Карта аномального магнітного поля ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> ( $Z_a$ ) району Хмільницького гравітаційного мінімуму (червоний чотирикутник). Перетин ізодинам — 20 нТл.

Fig. 5. Map of the anomalous magnetic field ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> ( $Z_a$ ) in the area of the Khmilnyk gravity minimum (red quadrilateral). The isodynes cross section is 20 nT.

У монографії [Геохронологія..., 2008, с. 92] всі граніти побузького комплексу району досліджень названі апліт-пегматоїдними, поділеними на два різновиди — рожеві суттєво пегматоїдні без гранату і світло-сірі з гранатом. Це дещо заплутує термінологію, тому що І.Б. Щербаков [Щербаков, 2005], використовуючи власні дані та матеріали монографії [Щербак, 1975], відділив гранат-біотитові граніти м. Хмільник від апліт-пегматоїдних гранітів і відніс їх до бердичівського комплексу, серед якого вони розвинені та наслідують деякі ознаки речовинного складу бердичівських гранітів, хоча, на відміну від останніх, в них відсутній кордієрит. Автор зазначає (с. 143), що лейкократовий і алохтонний характер гранат-біотитових гранітів ясно

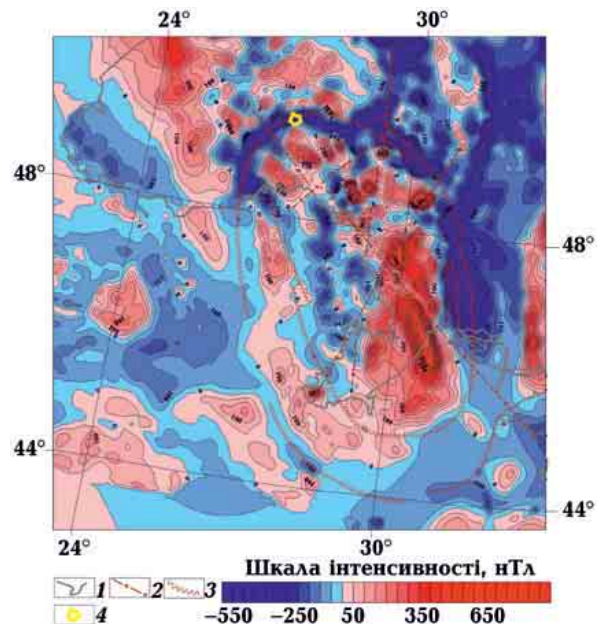


Рис. 6. Магнітне поле південного заходу України та суміжних територій [Довгань та ін., 2009; Chulliat et al., 2015; Гінтов та ін., 2018]: 1 — кордон України; 2 — зони трансмегаблокових коромантійних розломів; 3 — осі від'ємних лінійних аномалій, що утворюють овалоподібний сегмент магнітного поля — ортократон, за [Довгань та ін., 2009]; 4 — Хмільницький мінімум сили тяжіння.

Fig. 6. Magnetic field of southwestern Ukraine and adjacent territories [Dovgan et al., 2009; Chulliat et al., 2015; Gintov et al., 2018]: 1 — border of Ukraine; 2 — zones of transdomain coromantine faults; 3 — axes of negative linear anomalies forming an oval-shaped segment of the magnetic field — orthocraton, after [Dovgan et al., 2009]; 4 — Khmilnyk minimum of gravity.

відбито в їх високій кремнекислотності та калієвості, низькій фемічності та кальцієвості. Проте І.Б. Щербаков не виділив їх у окремих комплекс.

На жаль, обидва дослідники не надали достатньої уваги геофізичним даним, за якими хмільницькі граніти поширені тільки в межах унікального Хмільницького мінімуму сили тяжіння, котрий тоді вже був відомий і попередньо кількісно проінтерпретований на рубежі 1960—1970-х років [Яненко и др., 1966].

Хмільницькі граніти були включені до Стратиграфічної схеми УЩ 1993 р. [Стратиграфические..., 1993] у так званий хмільницький параавтохтонний комплекс (віковий діапазон 2000—1850 млн років), до якого увійшли: лейкократові різнозернисті та апліт-пегматоїдні граніти (під назвою хмільницьких), а також турмаліновмісні (янишівські) граніти та біотитові порфіробластичні граніти. Як уже зазначалось, І.Б. Щербаков виділив апліт-пегматоїдні граніти в окрему групу, тому що вони широко поширені в межах західної частини щита, трапляються в чарнокідоїдах, іноді маючи з ними поступові переходи, хоча останні виключені з бердичівського комплексу, до якого автор відносить хмільницькі граніти: «Розовые апліт-пегматоїдні граніти просторовно обособлені від гранат-біотитових гранітів» [Щербаков, 2005, с. 137]. Янишівські граніти, досліджені Г.А. Шварцом з колегами в межах Південного Побужжя [Державна..., 2007а] і віднесені до хмільницького комплексу у Стратиграфічній схемі УЩ 1993 р., можливо і входять у цей віковий діапазон, але ні географічно, ні за складом також не можуть бути віднесені до хмільницького комплексу.

В.В. Лукашем зі співавторами [Державна..., 2007б] узагальнено матеріали наукових і виробничих геолого-геофізичних досліджень території листа М-35-XXII (Старокостянтинів), зокрема доволі детально охарактеризовано хмільницький комплекс гранітоїдів, який об'єднано у Хмільницький масив (див. рис. 3). Відповідно до чинної Кореляційної хроностратиграфічної

схеми ранньодокембрійських утворень Українського щита [Кореляційна..., 2004], цей комплекс віднесено до інтрузивних і поділено на граніти апліт-пегматоїдні та граніти лейкократові. Останні складають основний обсяг Хмільницького масиву. Під мікроскопом їх текстура гранітова, пегматоїдна чи катакластична. Мінеральний склад, %: — кварц — до 40, мікроклін-мікропертит — 45, плагіоклаз (альбіт-олігоклаз) — 15, біотит — од.з. — 10, гранат — од.з. — 15; акцесорні: апатит, монацит, циркон, силіманіт. За хімічним складом, порівняно з гранітоїдами бердичівського комплексу, у хмільницьких гранітах на 7 % більше  $\text{SiO}_2$ , проте на 1—2 % менше  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , сумарного  $\text{Fe}$ , а відношення  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  більше на 14 %. Назва «лейкократові» ні про що не говорить і не є петрографічною. З огляду на Крутнівський кар'єр, де відслонюється петротип цих гранітів, автори зазначають (с. 95), що «спостерігаються поступові переходи бердичівських гранат-біотитових гранітів у лейкократові хмільницькі граніти. Цей перехід супроводжується поступовим освітленням бердичівських гранітів, зменшенням кількості біотиту, появою мікрокліну, зменшенням кількості і розмірів зерен гранату». Проте від цього лейкократові граніти не перестають бути гранатовими і біотитовими, як їх у свій час назвав М.П. Щербак, додавши ще слово «сірі» [Щербак, 1975, с. 55]. Тому, з точки зору авторів цієї статті, які також вивчали хмільницькі граніти в кар'єрах і у відслоненнях Південного Бугу, найточніша їх назва — «хмільницькі світло-сірі гранат-біотитові граніти». Вік цих гранітів визначено уран-свинцевим методом за монацитами з кар'єру Широка Гребля, він становить 2055—2041 млн років тому [Степанюк, 2000] (пізніше автор [Степанюк, 2024, с. 197] конкретизував вік цих гранітів, а саме 2039±4,8 млн років).

Слід зазначити, що датуванню хмільницьких гранітів, на диво, не приділялось достатньої уваги. Наведені цифри Л.М. Степанюка — єдині точні дані, які фігурують у всіх публікаціях, хоча більшість

авторів визнають, що ці граніти «дещо молодші» за чудново-бердичівські.

З Хмільницьким масивом лейкократових гранат-біотитових гранітів і його найближчим обрамленням пов'язані родовища і рудопрояви різних корисних копалин (рис. 7), передусім радонові мінеральні води і радіоактивні метали — уран і торій (Хмільник, прояви Жданівка, Соколова, Лелітка, Дяківці) [Бондаренко та ін., 2015]; рідкісноземельні елементи (монацити — прояв Дібровка), нікель і благородні метали у включеннях ультрабазитів (прояв Жданівка). Хмільницькі граніти, що виходять у численних кар'єрах, розробляються як декоративні плити.

Важливо зазначити, що ХСТВ за глибинними та приповерхневими ознаками відповідає регіонам, перспективним і на корінні родовища алмазів. Тут потужність літосфери сягає більш як 200 км, глибина залягання поділу Мохо — понад 50 км [Соллогуб, 1986; Очерки..., 1918].

Згідно з останніми дослідженнями глибинних мінералів верхня мантія цієї площі диференційована ідеплетована і містить так зване «алмазне вікно». Характер аномального мозаїчного магнітного поля з концентрично-зональною будовою, перетин трьох регіональних розломів («зірковий» тектонічний вузол), архейський вік метаморфічних порід кристалічного фундаменту, пояс сублужних дайок габро-діабазів — ознаки, що є головними для алмазозносних провінцій світу, встановлені на Хмільницькій ділянці разом із знахідками алмазу та його мінералами-супутниками (рис. 7).

Так, Р.Н. Довгань зі співавторами [Довгань та ін., 2008] отримали цікаві матеріали щодо насиченості периферійних частин Хмільницького гравімінімуму, насамперед (із заходу на схід) Старосинявської, Кумановецької, Жданівської, Філіопільської, Кожухівської ділянок, контрастними ореолами індикаторних мінералів кімберлітів-піропів, хромшпінелідів, пікрольменітів. Вони встановлені в усіх осадових горизонтах: палеогеновому бучацькому, міоценовому сарматському,

пліоценовому (витоки балту) і четвертинному. Деякі піропові ореоли простежені на відстань до 3 км і ширину до 800 м (Кумановецький ореол). Середній вміст піропів становить 230—380 знаків на 20-літрову пробу, а в окремих пробах сягає 2000 знаків. Серед піропів переважають гранати помаранчевого кольору — 37 %, що свідчить про високий вміст різновидів еклогітової асоціації. Розмір зерен піропів дорівнює переважно 0,25—0,5 мм і лише незначна кількість зерен (не більш як 5 %) — 0,5—1 мм. Піропи практично не зношені, переважають зерна гострокутної форми. Крім того, по периферії гравімінімуму в алювіальних четвертинних і пліоценових відкладах виявлено шість уламків кристалів природних алмазів. Визначено наявність у цьому районі малих інтрузій лужних порід проскурівського комплексу, зокрема Вербського і Антонівського масивів, формування інтрузивних тіл хмільницьких лейкократових гранітів, збагачених гранатом з підвищеним піроповим компонентом, сублужних ультраосновних порід жданівської асоціації, малих тіл і дайок метагаброїдів, у тому числі габро-норитів, до складу яких входять еклогіти, палеотипних і кайнотипних дайкових утворень — діабазів палеопротерозойського і мезопротерозойського віку. Характерною ознакою дайкового магматизму в районі гравімінімуму є місце скупчення різнонаправлених дайок — так звані «дайкові вузли», які розміщуються в районі м. Хмільник (рис. 8), с. Угли і на Шевченківській ділянці. У межах мінімуму і його периферійного обрамлення серед кристалічних порід спостережені активні прояви метасоматичних процесів: графітизації, карбонатизації, фосфорної та сульфідної мінералізації, зокрема цинкової, мідної.

Встановлені виконавцями цієї роботи геолого-геофізичні чинники дали можливість ідентифікувати район Хмільницького мінімуму і його найближче облямування як «термоблему», тобто структуру, у межах якої верхня мантія мала підвищену проникність для гарячих газофлюїдних по-

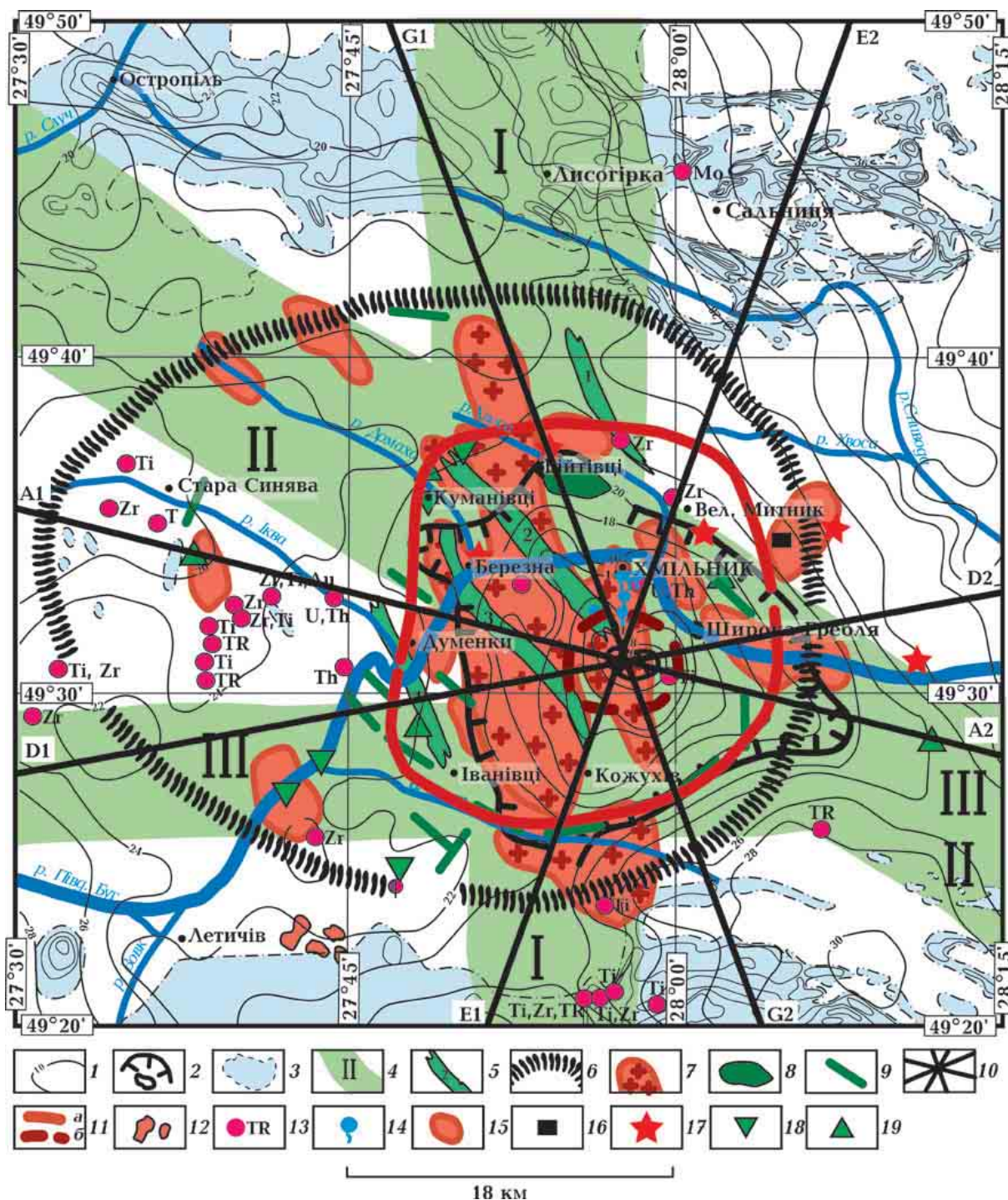


Рис. 7. Схема розміщення родовищ і проявів корисних копалин у межах території Хмельницького мінімуму сили тяжіння: 1 — ізоаномали сили тяжіння, за [Яненко и др., 1966]; 2 — контури Хмельницького мінімуму за ізоаномалою 20 мГал і його епіцентру за ізоаномалою 6 мГал; 3 — ізодинами поля  $Z_a$ ; 4 — зони розломів (I — Білокоровицько-Яблунівська, II — Хмельницька, III — Хмельницька); 5 — зони зниженого електричного опору (графітизація, розривні порушення), за [Яненко и др., 1966]: Семкинська (1), Соколівська (2), Березинська (3), Думенська (4); 6 — контур Старосинявсько-Хмельницької термоблеми, за [Довгань та ін., 2008]; 7 — Хмельницький масив, за [Державна..., 2007б]; 8 — Жданівський масив ультрабазитів; 9 — дайки діабазів і габродіабазів; 10 — положення інтерпретаційних профілів; 11 — контури Хмельницького масиву за геофізичними даними (а — поверхневої частини («капельох») на глибині близько 1 км, б — вузької частини на глибині 5 км); 12 — масиви лужних порід; 13, 14 — рудопрояви і родовища корисних копалин

(13 — рудних, 14 — радонових вод); 15, 16 — фактори алмазоносності (15 — ореоли піропів, 16 — наявність хромніобійового рутилу в метабазитах); 17—19 — знахідки в осадовому чохла (17 — алмазів, 18 — хромдіопсиду, 19 — пікрольменіту).

Fig. 7. Schematic of the location of mineral deposits and occurrences within the territory of the Khmilnyk minimum gravity: 1 — gravity isoanomalies, according to [Yanenko et al., 1966]; 2 — contours of the Khmilnyk minimum along the 20 mGal isoanomaly and its epicenter along the 6 mGal isoanomaly; 3 — isodynes of the  $Z_a$  field; 4 — fault zones: I — Bilokorovychy-Yablunivka, II — Khmilnyk, III — Khmelnytska; 5 — zones of reduced electrical resistivity (graphitization, discontinuities), according to [Yanenko et al., 1966]: Semkinska (1), Sokolivska (2), Bereznynska (3), Dumenska (4); 6 — contour of Starosyniavsko-Khmilnytska thermal problem, according to [Dovhan et al., 2008]; 7 — Khmelnyk massif, according to [State ..., 2007]; 8 — Zhdanivka massif of ultrabasites; 9 — dikes of diabases and gabbro-diabases; 10 — position of interpretive profiles; 11 — contours of the Khmilnyk massif according to geophysical data ( $a$  — surface part («hat») at the level of about 1 km,  $b$  — narrow part at the level of about — 5 km); 12 — massifs of alkaline rocks; 13, 14 — ore occurrences: and mineral deposits (13 — ore, 14 — radon water); 15, 16 — diamond bearing factors (15 — pyrope halos; 16 — presence of chromium rutile in metabasites); 17—19 — found in sedge cover (17 — diamonds, 18 — chromdiopside, 19 — picrolmenite).



Рис. 8. Дайка габро-діабазів потужністю 30 м, азимут простягання  $310^\circ$ , кар'єр Широка Гребля. Фото С.В. Мичака.

Fig. 8. Gabbro-diorite dyke with a thickness of 30 m and a strike azimuth of  $310^\circ$ , Shyroka Hreblya open pit. Photo by S.V. Mychak.

токів, що йдуть від магматичних діапирів. Зазвичай кімберлітові поля розміщуються над термоблемами, а останні — в межах давніх ортократонів [Зинчук и др., 2004], саме тому автори рекомендували цю ділянку як першочергову на пошуки корінних джерел алмазів. Коректність такого висновку підтверджено результатами пізніших інструментальних досліджень глибинних гранатів ХСТВ:

— у гравітаційних концентратах переважають гранати вебстеритового та еклогітового парагенезисів. Серед останніх виявлено гранати, які за хімічним складом і колориметричними параметрами ідентичні гранатам алмазоносних бімінеральних

еклогітів із кімберлітів алмазоносних провінцій світу [Мацюк та ін., 2004];

— для гранатів еклогітового парагенезису встановлено позитивну кореляцію між вмістом  $TiO_2$  і  $Na_2O$ , а також низький вміст кальцію (<5,5 %), що підтверджує їх верхньомантієне походження. Деякі піропальмандинові гранати мають підвищений вміст  $SiO_2$ , що може вказувати на наявність у них мейджоритового компоненту, який є ознакою особливо високобарних умов їх утворення;

— у досліджених пробах не виявлено низькокальцієвих високохромистих гранатів алмазоносного гарцбургіт-дунітового парагенезису, а також гранатів ільменітвмісних парагенезисів, що відрізняє Хмільницьку ділянку від інших ділянок УЩ. На думку О.А. Вишневського [Вишневський та ін., 2012], значна частина вивчених піропів дуже подібна до піропів лампроїтів і лужних базальтоїдів. Подібні породи могли укорінюватися разом з дайками діабазів хмільницького комплексу;

— хром-ніобієвий рутил встановлений на двох ділянках у метаморфізованих базитах з підвищеним, до 202 г/т, вмістом хромшпінелідів і незначною кількістю хромдіопсиду. У рутилі, вміст якого сягає 93 г/т, уперше для УЩ встановлено аномальний, характерний для рутилу коромантієного походження, вміст  $Cr_2O_3$  до 1,14 % і  $Nb_2O_5$  до 1,01 % [Павлюк, Павлюк, 2022]. Припускається поширення у межах ділянки еклогітових ксенолітів.

Таким чином, можна вважати, що алмази та їх мінерали-супутники, імовірно, по-

ходять з місцевих корінних джерел, тобто у межах Подільського мегаблока, а Хмільницька ділянка є найімовірнішим місцем знаходження корінних джерел алмазу.

**Результати кількісної інтерпретації та природа Хмільницького гравітаційного мінімуму.** Як бачимо на рис. 3, за геологічними побудовами авторів роботи [Державна..., 2007б] Хмільницький масив лейкогранітів має розміри 30×10 км, витягнутий в субмеридіональному напрямку та звужується на північ. При цьому основна, найширша, його частина все ж розміщується саме в межах епіцентру Хмільницького мінімуму сили тяжіння, на 6 км південніше м. Хмільник. Зрозуміло, що якщо автори роботи [Державна..., 2007б] включають у хмільницький комплекс і апліт-пегматоїдні граніти, то цей комплекс можна картувати всюди, не прив'язуючись до гравітаційного мінімуму. Проте в цій самій роботі за результатами інтерпретації геофізичних даних було показано, що Хмільницький мінімум, а відповідно і масив (рис. 9), характеризуються неоднорідною внутрішньою структурою, де спостерігається центральне високоградієнтне ядро розміром близько 11×8 км і зовнішнє кільцеве

менш градієнтне обрамлення завширшки приблизно 10 км (рис. 10, 11). На рис. 2, 5 і 9 центральна частина мінімуму і масиву обмежена червоним або чорним чотирикутником.

Така специфічна внутрішня структура Хмільницького мінімуму дала змогу геофізикам у тій самій роботі пояснити його можливу геологічну природу (відповідно до діючої стратиграфічної схеми) наявністю тут лійкоподібного штока гранітів апліт-пегматоїдних і гранітоїдів гранат — біотитового складу (див. рис. 10).

Плутанина з номенклатурою хмільницького комплексу, на яку ще вказував І.Б. Щербаков [Щербаков, 2005] і яка залишилася у діючій стратиграфічній схемі, віддзеркалилася і в умовних до рис. 10. Назву мають лише граніти і мігматити бердичівські. З трьох типів інших гранітоїдів хмільницький комплекс не відомо де. Якщо автори мають на увазі граніти лейкократові, то чому додали до них слово «апліт-пегматоїдні»? На геологічній карті (див. рис. 3) ці два типи порід позначаються різними літерами. Крім того, автори не врахували вплив зон розломів, що перетинаються в межах Хмільницького масиву і також мають від'ємну надлишкову густину відносно бердичівських гранітоїдів.

З розробкою програмних комплексів інтерпретації потенційних полів [Коваленко-Завойський, Іващенко, 2007; Старостенко и др., 2015; Geophysical..., 2017 та ін.] з'явилася можливість створити нові варіанти тривимірної густинної моделі масиву хмільницьких гранітів. Маються на увазі методи 3D гравітаційного і магнітного моделювання для вирішення складних геологічних завдань. Їх принципова перевага полягає в тому, що вони дають змогу з великою точністю обчислювати модельне поле неоднорідних реальних геологічних структур.

Нас цікавить саме гравітаційний мінімум, тому нижче розглянуто його густинні моделі, побудовані за допомогою програми GSS Potent [Geophysical..., 2017]. Моделювання геологічного об'єкта відпрацьовано на базі використання зведених карт ано-

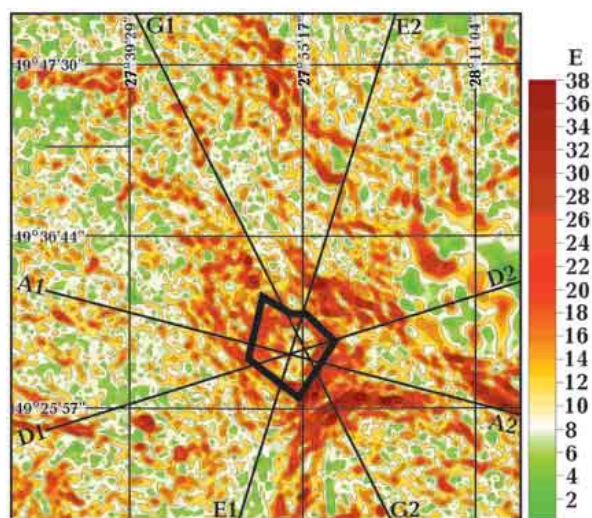


Рис. 9. Карта модуля горизонтального градієнта поля сили тяжіння району Хмільницького мінімуму і масиву хмільницьких гранітів.

Fig. 9. Map of the horizontal gradient modulus of the Khmilnyk Minimum area and the Khmilnyk granite massif.

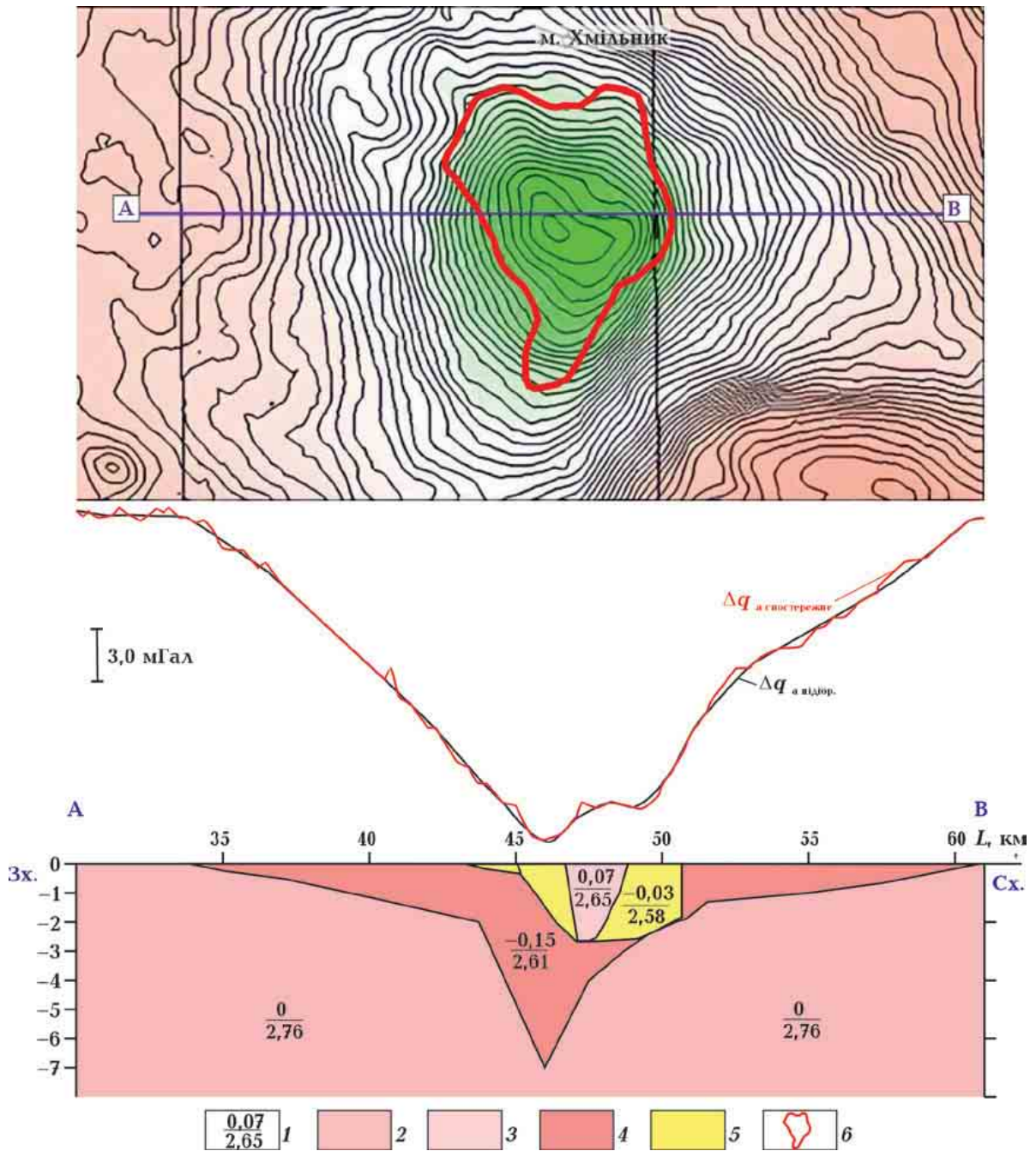


Рис. 10. Густинна модель Хмільницького масиву гранітоїдів за результатами інтерпретації гравітаційного поля масштабу 1:50 000 уздовж широтного профіля АВ завдовжки 62 км, який проходить через центр Хмільницького мінімуму  $\Delta g$  [Державна..., 2007б]: 1 — значення густини вмісних гірських порід (зверху — надлишкової, знизу — абсолютної); 2 — граніти та мігматити гранат-біотитові бердичівські ( $\sigma=2,76$  г/см<sup>3</sup>); 3 — граніти біотитові, гранат-біотитові ( $\sigma=2,65$  г/см<sup>3</sup>); 4 — гранат-біотитові, апліт-пегматоїдні ( $\sigma=2,61$  г/см<sup>3</sup>); 5 — граніти лейкократові апліт-пегматоїдні ( $\sigma=2,58$  г/см<sup>3</sup>); 6 — контур масиву лейкократових гранітів. Регіональний фон апроксимовано похилою площиною.

Fig. 10. Density model of the Khmilnyk granitoids based on the interpretation of the gravity field at a scale of 1:50 000 along a latitudinal profile AB of 62 km long, which passes through the center of the Khmilnyk minimum  $\Delta g$  [State..., 2007b]: 1 — density value of the host rocks: in the numerator — excessive, in the denominator — absolute; 2 — granites and migmatites of Berdychiv garnet-biotite ( $\sigma=2.76$  g/cm<sup>3</sup>); 3 — biotite granites, garnet-biotite ( $\sigma=2.65$  g/cm<sup>3</sup>); 4 — garnet-biotite, aplite-pegmatoid ( $\sigma=2.61$  g/cm<sup>3</sup>); 5 — leucocratic aplite-pegmatoid granites ( $\sigma=2.58$  g/cm<sup>3</sup>); 6 — contour of the leucocratic granite massif. The regional background was approximated by an inclined plane.

мального гравітаційного поля в редуції Буте з густиною проміжного шару  $2,30 \text{ г/см}^3$ . При цьому використано цифрові дані гравірозвідки масштабу 1:50 000 з ділянкою масштабу 1:200 000 на сході, за межами гравітаційного мінімуму. Апроксимацію тіл здійснювали комбінацією горизонтальних призми, обмежених вертикальними площинами. Підбір здійснювався у діалоговому режимі. Регіональний фон апроксимовано горизонтальною площиною, тобто без спотворення взаємного положення ізоаномал. Геологічна модель першого наближення Хмільницького аномального об'єкта визначена з урахуванням результатів раніше проведених робіт з його моделювання (див. рис. 10), а також даних буріння і визначення параметрів густини кристалічних порід району досліджень. Розрахунок поля аномалій сили тяжіння для центральної частини Хмільницького мінімуму було виконано до суміщення розрахункової і спостереженої кривих  $G_a$  не гірше потрійної помилки визначення аномалій сили тяжіння за даними гравірозвідки масштабу 1:50 000 (0,5 мГал). Для першого наближення використано дані щодо фізичних властивостей порід Хмільницького мінімуму та його обмежень, наведені в роботах [Яненко и др., 1966; Германов та ін., 1988; Державна..., 2007б] і зведені нами

в таблицю. Також на рис. 4, 5, 7 і 9 показано інтерпретаційні профілі, що перетинають центр Хмільницького мінімуму (профілі А1—А2, D1—D2, E1—E2, G1—G2).

Отримані моделі наведено на рис. 11. Згідно з даними таблиці і врахуванням того, що граніти і мігматити гранат-біотитові бердичівського комплексу займають основну обмежувальну площу для масиву хмільницьких гранітів, було прийнято такі модельні надлишкові густини,  $\text{г/см}^3$ : граніти і мігматити гранат-біотитові бердичівського комплексу  $\pm 0$ , хмільницькі граніти  $-0,10$ , ендербіти і чарнокіти  $+0,09$ , зони розломів  $-0,03$ .

На всіх профілях змодельовані тіла гранітів простежуються, поступово згущуючись до глибини 15 км (на рівнях 7,5—14,5 км показано розрив, щоб не збільшувати розміри рисунків). Можливо, вузький підвідний канал продовжується й глибше, але на такому віддаленні та при таких розмірах у гравітаційному полі це вже не вирізняється.

З чотирьох профілів лише на профілі А1—А2 (рис. 11, а) графік поля  $\Delta g$  симетричний, тому що Хмільницький масив з північного заходу і південного сходу обмежений гранітоїдами бердичівського комплексу. Цей профіль є еталонним, і його можна порівнювати з профілем

### Густинні та магнітні властивості порід Хмільницького структурно-тектонічного вузла

Найменування порід	$\sigma, \text{г/см}^3$		$\chi (4\pi \cdot 10^{-6} \text{ CI})$		$I_r (10^{-3} \text{ A/m})$	
	межі	найбільша вірогідність	межі	найбільша вірогідність	межі	найбільша вірогідність
<i>Бердичівський комплекс</i> Граніти та мігматити гранат-біотитові	2,58—2,8	2,79	0—70	40	—	—
Плагіограніти і плагіомігмати	2,58—2,82	2,69	0—70	48	—	—
Граніти пегматоїдні і апліт-пегматоїдні	2,55—2,69	2,63	0—600	99	—	—
<i>Хмільницький комплекс</i> Граніти світло сірі гранат-біотитові (лейкократові)	2,58—2,70	2,60	—	34	0—22	—
<i>Чарнокітоїди</i> ендербіти, чарнокіти	2,7—2,9 —	2,8 2,69	50—2000 50—3400	300 $\leq 1000$	— —	460 600

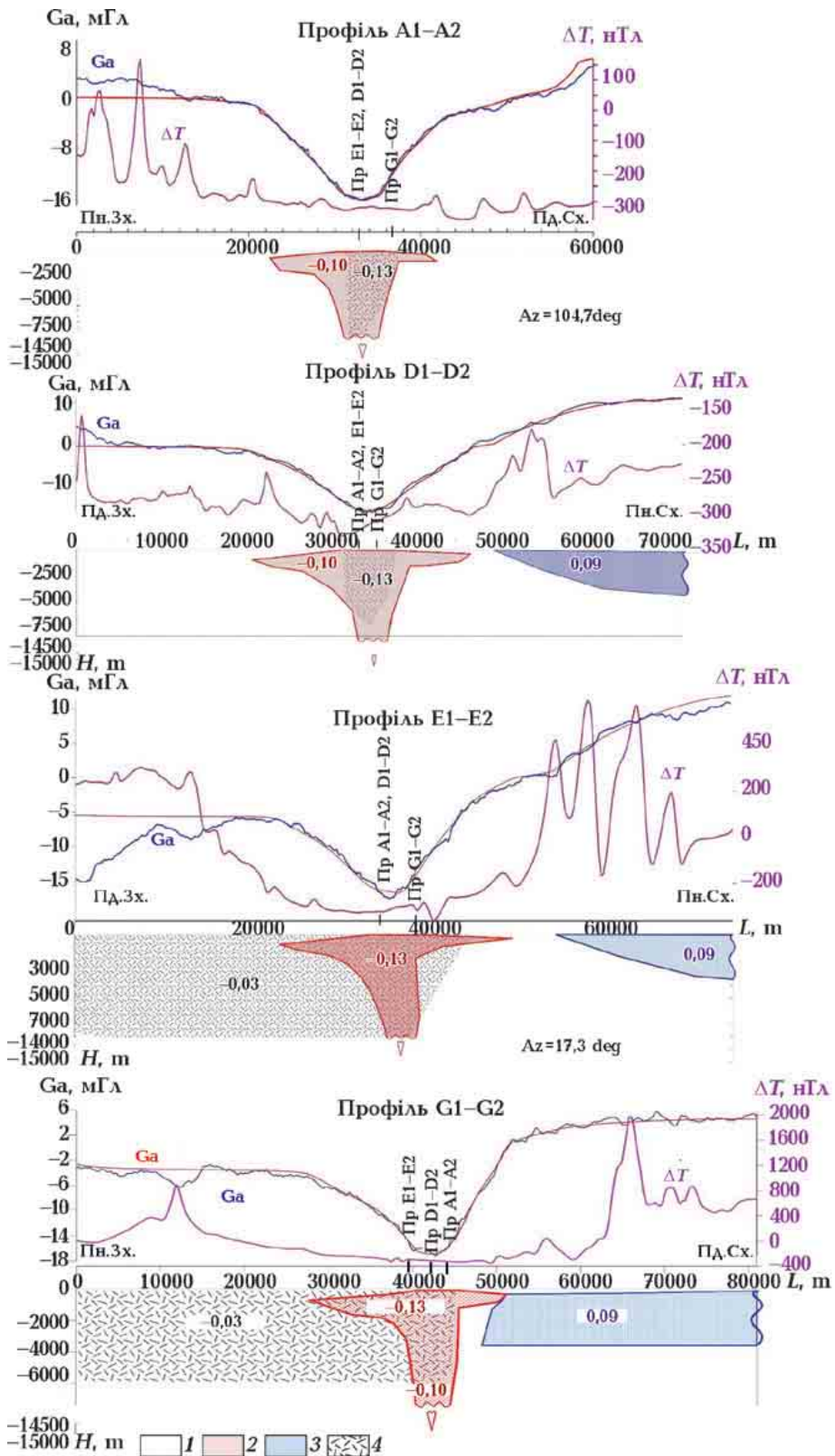


Рис. 11. Густинна модель уздовж профілів А1—А2, D1—D2, E1—E2, G1—G2. Умовні знаки до всіх моделей: 1 — гранітоїди бердичівського комплексу, 2 — хмільницькі граніти, 3 — ендербіти і чарнокіти, 4 — розломи.  
 Fig. 11. Density model along profiles A1—A2, D1—D2, E1—E2, G1—G2. Symbols for all models: 1 — granitoids of the Berdychiv complex, 2 — Khmilnyk granites, 3 — enderbites and charnockites, 4 — faults.

А—В, наведеним у роботі [Державна..., 2007б] (див. рис. 10). На обох профілях вмісними породами є бердичівські граніти, а лійкоподібне тіло на рис. 11 представлено хмільницькими гранітами, тоді як на рис. 10 — гранат-біотитовими, апліт-пегматоїдними, з густиною  $2,61 \text{ г/см}^3$ , яка ніяк не може відповідати цим породам, наведеним в таблиці. Від'ємна надлишкова густина ( $-0,15 \text{ г/см}^3$ ) суміші гранат-біотитових і апліт-пегматоїдних гранітів серед гранат-біотитових гранітоїдів бердичівського комплексу не є реальною. Тому лійкоподібне тіло у варіанті рис. 10 занурено на глибину всього 7 км, хоча це інтрузія гранітного розплаву, який утворюється на глибині 15 км і більше [Усенко, 2024]. У моделі профілю А1—А2 (рис. 11), як і на інших профілях, грибоподібне тіло хмільницьких гранітів якраз занурюється саме на цю глибину.

Важливо також зазначити, що контур Хмільницького масиву, показаний на Державній геологічній карті України масштабу 1:200 000 [Державна..., 2007б] і продубльований на рис. 3 і 7, потрібно відкоригувати. По-перше, на карті контур масиву окреслений південніше центру м. Хмільник, тоді як ще М.П. Щербак простежував хмільницькі граніти смугою завдовжки 10 км на півночі від міста [Щербак, 1975]. По-друге (і це головне), на карті масив концентрується на захід від епіцентру мінімуму (див. рис. 7) і навіть не простежується до східної рамки аркуша М-35-XXII (Старокостянтинів). Проте за даними кількісної інтерпретації (рис. 7, 11) приповерхнева частина масиву продовжується в обидва боки від епіцентру мінімуму не менш як на 10 км. І хоча краї масиву занурюються на глибину близько 1 км, його центральна частина має виходити на поверхню кристалічного фундаменту території сусіднього аркуша М-35-XXIII (Бердичів) або бути доступною для картувальних свердловин меншою мірою до с. Широка Гребля. На рис. 7 показано контури Хмільницького масиву на глибинних рівнях  $-1$  і  $-5$  км за даними кількісної інтерпретації гравітаційного мінімуму, наведеними на рис. 11.

**Завершення і висновки.** Головною визначальною ознакою геологічної сутності ХСТВ є наявність в його центральній частині, на перетині трьох глибинних розломів «зіркового» розміщення, локального прояву докембрійського кислого магматизму, яскраво вираженого у гравітаційному і магнітному полях, унікального для УЩ грибоподібного Хмільницького масиву лейкократових гранітів особливого складу. Водночас інтенсивні тектонічні процеси зумовили утворення глибинно-проникної подрібненої ділянки кристалічного фундаменту. Як наслідок, магматична діяльність у межах масиву та в зонах його ендо-екзоконтактів супроводжується глибинною дегазацією у вигляді радонових еманцій і проявами уранової мінералізації. До того ж площа всього ХСТВ характеризується численними проявами дайкового габро-діабазового магматизму протерозойського віку, контрастними ореолами індикаторних мінералів кімберлітів і уламками алмазів в осадовому чохла, що дає всі підстави рекомендувати тут проведення першочергових робіт на пошуки корінних джерел алмазів екологічної природи. Прикладом може бути провінція Слейв (Канадський щит), де всесвітньо відоме родовище алмазів Снеп-Лейк [Rokhilenko et al., 2004] відкрито у «зірковому» перехресті декількох розломів і розміщується в ореолі піропів розмірами  $3 \times 1,5$  км, тобто не більшому за площею від ореолів піропів, показаних на рис. 7.

Хмільницький масив являє собою складної форми грибоподібне тіло з надлишковою густиною  $-0,1 \text{ г/см}^3$  відносно вмісних бердичівських гранітів і глибиною не менш як 15 км. Його форма у розрізі вказує на те, що гранітний розплав, піднявшись у приповерхневу зону розвитку бердичівських гранітів, поширювався по субгоризонтальних тріщинах у вигляді силів. Значна частина масиву порушена сильною тріщинуватістю, пов'язаною з розломами, які його перетинають, що зменшує її надлишкову густину ще на  $0,03 \text{ г/см}^3$ . Це означає, що зони розломів — Хмільницька, Білокоровицько-Яблунівська і Хмельниць-

ка, були закладені раніше масиву хмільницьких гранітів, який сформувався у вузлі їх перетину, але активізувалися на немирівському і суботсько-мошоринському етапах розломоутворення (1999 і 1850 млн років [Гинтов, 2014; Мычак, 2015]), а можливо й неодноразово, порушивши масив тектонічними процесами.

Основні геолого-геофізичні роботи на території ХСТВ були виконані ще 40—60 років тому. Повернення геологів до цього регіону у ХХІ ст. пов'язане насамперед з необхідністю видання узагальнювальних геологічних карт території України, а також з відкриттям перспектив Хмільниць-

кої термоблеми на корінні родовища алмазів. Геофізичні дослідження, викладені в даній статті, спрямовані на підтримку таких перспектив і, крім того, мають на меті ще раз звернути увагу геологів на роль розломів у формуванні структури УЩ і значення вулканно-інтрузивних процесів центрального типу при утворенні родовищ корисних копалин.

Хмільницький гравітаційний мінімум як структура екзотичної для УЩ природи, а також інші природні геофізичні феномени України потребують додаткового вивчення більш глибокими геофізичними методами досліджень.

### Список літератури

- Бондаренко С.М., Степанюк Л.М., Карли З.В., Сьомка В.О., Донський М.О., Сьомка Л.В. Хмільницький рудопрояв калій-уранової формації: мінералогія, геохімія, час формування (Український щит). *Мінерал. журн.* 2015. 37. № 4. С. 106—122.
- Вишневецький О.А., Павлюк О.В., Павлюк В.М. Піропи із середньосарматських відкладів Верхнього Побужжя (Україна). *Мінерал. журн.* 2012. Т. 34. № 1. С. 25—34.
- Геохронологія раннього докембрія Українського щита. Протерозой.* Отв. ред. Н.П. Щербак. Київ: Наук. думка, 2008, 240 с.
- Герасимов Ю.Г. *Отчет о поисковых работах партии № 32 на северо-западной части УКМ за период 1956—1960 гг.* Киев, 1960.
- Германов Б.С., Столяренко К.Д., Лукаш В.В., Мацнева Л.Н., Войновский А.С., Стровев В.М., Сыроватко Н.А., Смирнова М.Б., Тюденев Г.М., Котляр Б.Б., Металиди И.С. *Результаты геофизических и геохимических исследований с целью подготовки основы для геологической съемки масштаба 1:50 000 на площади листов М-35-91-Г, -92-А, В, Г (ю.п.), -93-В. Отчет Вольнской геофизической и поисково-съёмочных партий за 1985—1988 гг.* Киев, 1988.
- Гинтов О.Б. Схема периодизации этапов разломообразования в земной коре Украинского щита — новые данные и следствия. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145>.
- Гинтов О.Б., Орлюк М.І., Єнтін В.А., Пашкевич І.К., Мичак С.В., Бакаржєєва М.І., Шимків Л.М., Марченко А.В. Структура західної і центральної частин Українського щита. Спірні питання. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 6. С. 3—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151000>.
- Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Центральноукраїнська серія. Аркуш: L-36-I (Любашівка). Пояснювальна записка.* Київ: Державнагеологічна служба, 2007а, 250 с.
- Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Центральноукраїнська серія. Аркуш: М-35-XXII (Старокостянтинів). Пояснювальна записка.* Київ: Державна геологічна служба, Північне державне регіональне геологічне підприємство «Північгеологія», 2007б, 242 с.
- Довгань Р.М., Єнтін В.А., Павлюк В.М. Хмельницько-Одеський ортократон як головна літосферна мегаструктура країни Східноєвропейської платформи та його пошукова привабливість на алмази. *Мінерал. ресурси України.* 2009. № 1. С. 6—10.
- Довгань Р.М., Павлюк В.М., Єнтін В.А. Жданівський рудопрояв благородних металів міді та урану та його перспективи. *Матеріали науково-технічної наради «Геологія та генезис рудних родовищ України (сучасний стан, нові підходи, проблеми, рішення)», Київ, 24—29 квітня 2004 р., С. 132—134.*

- Довгань Р.М., Павлюк В.М., Єнтін В.А. Цимбал Ю., Грінін Р.А. *Пошуки корінних родовищ алмазів в межах Бердичівського підняття (1991—2008)*. Київ: Фонди ДП «Українська геологічна компанія», 2008. Кн. 1. 272 с. Кн. 2. 210 с.
- Егоров В.И. *Отчет о работе Шепетовской геофизической партии за 1957—1958 гг.* Киев, 1959, 245 с.
- Єнтін В.А. *Природные геофизические феномены Украины*. Киев: Вид. УкрДГРІ, 2012, 76 с.
- Єнтін В.А., Гинтов О.Б., Мычак С.В., Юшин А.А. Структура Молдовского железорудного месторождения (Украинский щит) по геолого-геофизическим данным и его возможная эндогенная природа. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 4. С. 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i4.2015.111118>.
- Єнтін В.А., Гинтов О.Б., Мичак С.В., Павлюк В.М., Ніколаєвський В.П. Перспективи Побузького гірничорудного району як агломерації родовищ рудних і нерудних корисних копалин для відбудови народного господарства України у післявоєнний період. *Геофиз. журн.* 2023а. Т. 45. № 6. С. 3—35. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i6.293305>.
- Єнтін В.А., Гинтов О.Б., Орлюк М.І., Марченко А.В. Локальні магнітні аномалії Українського щита як індикатори прояву різновікових етапів осередково-каналного магматизму. *Геофиз. журн.* 2023б. Т. 45. № 2. С. 44—61. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i2.278322>.
- Єнтін В.А., Гуськов С.И., Дзюба Б.М., Гинтов О.Б., Орлюк М.И., Мычак С.В. К вопросу о возможной дегазационной природе некоторых локальных структур концентрично-зонального строения на территории Вольно-Подольской плиты и западной части Украинского щита и пути их последующего изучения. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 6. С. 36—58. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i6.2020.222282>.
- Єнтін В.А., Шимків Л.М., Нечаєва Т.С., Дзюба Б.М., Гинтов О.Б., Пашкевич І.К., Красовський С.С. *Підготовка геофізичної основи тектонічної карти України масштабу 1:1000 000*. Київ: Геоінформ України, 2002, 55 с.
- Зинчук Н.Н., Дукардт Ю.А., Борис Е.И. *Текто-*
- нические аспекты прогнозирования кимберлитовых полей*. Новосибирск: Сибтехнорезерв, 2004, 166 с.
- Иванов А.С., Байсарович М.Н., Григорьев В.Н. *Отчет о результатах предварительной и детальной разведки подземных вод для водоснабжения г. Хмельника, Винницкой обл. УССР (1972—1974 гг.)*. Киев, 1974.
- Иванченко Н.И., Стомаченко Л.А., Денисюк М.А. *Отчет о работах по комплексной геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1:50 000 листов М-35-92-Б, М-35-92-Г (с.п.) и М-35-93-А (з.п.), выполненной в 1965—1969 гг.* Киев, 1969.
- Коваленко-Завойський В.М., Іващенко І.М. Математичне забезпечення інтерпретації поля регіональних магнітних аномалій. *Геофиз. журн.* 2006. Т. 28. № 5. С. 18—30.
- Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита. Пояснювальна записка*. Київ, 2004, 30 с.
- Лавров Д.А., Щербак Н.П. *Отчет о поисках редких металлов в районе Верхнего Побужья и Приднестровья за 1960—1963 гг.* Киев, 1963.
- Мацюк С.С., Цимбал С.М., Цимбал Ю.С., Павлюк В.М. Щодо корінних джерел мінералів-супутників алмазу з осадових порід південно-західної частини Українського щита. В кн.: *Перспективи алмазоносності території України*. Київ: Вид. УкрДГРІ, 2004, С. 96—105.
- Мызников Д.Ф., Грищенко С.Д. *Отчет о результатах детальной разведки Хмельнического месторождения минеральных радоновых вод Винницкой области УССР за 1979—1981 гг.* Киев: Изд. ПГРЕ, 1982.
- Мычак С.В. Кинематика формирования западной и центральной частей Украинского щита в период 2,05—2,02 млрд лет назад. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 1. С. 83—99. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111327>.
- Очерки геодинамики Украины*. Под. ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтова. Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018, 465 с.
- Павлюк В.М., Павлюк О.В. Хром-ніобієвий рудит Бердичівського палеопідняття і його за-

- хідного схилу. *Геологічна будова та корисні копалини України: Збірник тез всеукр. наук. конф. «Геологічна будова та корисні копалини України»*. Київ, 12—13 жовтня 2022 р., С. 196—199.
- Пийяр Ю.К., Подтелок П.П. *Геологические карты масштаба 1:50 000 территории листов М-35-80-Б и М-35-80-Г: Отчет геологической партии № 1 и Вольнской геофизической партии за 1972—1974 гг.* Киев, 1974.
- Плохотниченко Д.И. *Отчет Коростышевской партии № 49 за 1968 г. о специализированной подготовке площадей к глубинным поискам месторождений урана.* Киев, 1969.
- Поливанчук А.А., Беланов В.М. *Отчет о работах Вольнской геофизической партии за 1957—1959 гг.* Кн. 1. Киев, 1960, 208 с.
- Почтаренко В.И., Бочай Л.В. *Отчет о результатах глубинного картирования масштаба 1:200 000. Лист М-35-XXII (Староконстантинов). Геологосъемочная партия № 22, 1968—1971 гг.* Киев, 1971.
- Рыбалт Б.М. *Геологическое строение и полезные ископаемые верхнего течения р. Южный Буг. Отчет о групповой геологической съемке масштаба 1:50 000 с общими поисками территории листов М-35-91-Г; -92 А, В, Г (ю.п.); -93-В.* Киев, 2002.
- Сологуб В.Б. *Литосфера Украины.* Киев: Наук. думка, 1986, 184 с.
- Старостенко В.И., Легостаева О.В., Макаренко И.Б., Савченко А.С. Комплекс программ автоматизированной интерпретации данных потенциальных полей. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 1. С. 42—52. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111322>.
- Степанюк Л.М. *Геохронологія докембрію західної частини Українського щита (архей-палеопротерозой): автореф. дис. ... г-ра геол. наук.* Київ. 2000, 34 с.
- Степанюк Л.М. *Монацитометрія Українського щита (Волинський і Дністровсько-Бузький мегаблоки).* Київ: ВД «Академперіодика», 2024, 232 с.
- Стратиграфические схемы фанерозоя и докембрия Украины.* Отв. ред. Д.Ф. Володин. Киев: 1993, 240 с.
- Стрелкова Н.Е., Денисевич А.И., Воловник Б.Я. *Геологическая карта листа М-35-XXII (Староконстантинов). Отчет Староконстантиновской партии Львовской экспедиции за 1957—1959 гг.* Киев, 1960.
- Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000 000. Ч. 1. Пояснювальна записка.* Відпов. ред. Д.С. Гурський, С.С. Круглов. Київ: УкрДГРІ, 2007, 95 с.
- Тесленко А.В., Соколова К.М. *Отчет о работе аэрогеофизической партии за 1958—1959 гг.* Киев, 1959.
- Усенко О.В. Термодинамічні умови гранітизації та метаморфізму порід північно-західної частини Українського щита. *Геофиз. журн.* 2024. Т. 46. № 2. С. 34—52. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i2.294984>.
- Ушакова Н.И., Цимбал П.Н. *Отчет о работах Винницкой геофизической партии за 1958 г.* Киев, 1959.
- Щербак Н.П. *Петрология и геохронология докембрия западной части Украинского щита.* Киев: Наук. думка, 1975, 271 с.
- Щербаков И.Б. *Петрология Украинского щита.* Львов: ЗУКЦ, 2005, 366 с.
- Яненко О.Г., Жабровец В.И., Малуша Н.П., Березинец Г.Д. *Отчет Соколовской геофизической партии за 1966 г.* Кн. 1. Киев, Фонды ДП «УГК», 102 с.
- Chulliat, A., Macmillan, S., Alken, P., Beggan, C., Nair, M., Hamilton, B., Woods, A., Ridley, V., Maus, S., & Thomson, A. (2015). *The US/UK world magnetic model for 2015—2020.* National Centers for Environmental Information, NOAA. Retrieved from <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/510709/>.
- Geophysical Software Solutions. *Potent v.4.17.01.* (2017). Retrieved from <https://www.geoss.com.au/index.html>
- Pokhilenko, N.P., Sobolev, N.V., Rentsky, V.N., Hall, A.E., & Taylor, L.A. (2004). Crystalline inclusions and C isotope ratios in diamonds from the Snap Lake/King Lake kimberlite dyke system: evidence of ultradeep and enriched lithospheric mantle. *Lithos*, 77, 57—67. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.019>.

## The Khmilnyk structural and tectonic unit and its geological and geophysical essence

V.A. Yentyn<sup>1</sup>, O.B. Gintov<sup>2</sup>, S.I. Guskov<sup>1</sup>, S.V. Mychak<sup>2</sup>,  
O.V. Pavliuk<sup>3</sup>, D.V. Zalizniak<sup>2</sup>, 2025

<sup>1</sup>State Enterprise «Ukrainian Geological Company», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The Khmilnyk structural and tectonic node is an extraordinary case for the Ukrainian Shield. It is located in its southwestern part (Berdychiv Uplift), at the intersection of three deep faults, and is a clearly manifested deep-penetrating section of the crystalline basement (thermoplast). Its conditional length from west to east is about 40 km, and the epicenter falls on the Khmilnyk gravity minimum with dimensions of 25×25 km and relative intensity of –16 mGal, which coincides with the area of reduced magnetic field intensity. According to a comprehensive geological and geophysical interpretation of these data, the nature of the minimum is due to the manifestation of a local center of Proterozoic acid magmatism among the granitoids of the Berdychiv complex, represented by a mushroom-shaped massif of garnet leucogranites of a biotite composition, traced to a depth of 15 km, i.e., to the zone of existence of a possible granite melt. The mushroom shape of the granitoids, whose density is 0.1 g/cm<sup>3</sup> less than that of Berdychiv granites, is explained by subhorizontal penetration of the melt in the near-surface part of the crust in the form of sills. Magmatic activity within the massif and in the area of its endo-exocontacts is accompanied by deep degassing in the form of radon emanations and manifestations of uranium mineralization. The area of the entire Khmilnyk structural and tectonic unit is characterized by numerous manifestations of dike gabbro-diabase Proterozoic magmatism, contrasting halos of indicator minerals of kimberlites and diamond fragments in the sedimentary cover. Detailed petrologic and geochemical characteristics of garnets in general and pyropes in particular are presented. It is shown that the garnets of the study area are of crustal-mantle origin. Some are identical in chemical composition and colorimetric parameters to the garnets of diamond-bearing bimineraleclogites from kimberlites of diamond-bearing provinces of the world. The pyrope is dominated by orange garnets, which indicates a high content of eclogite association varieties. More than a dozen pyrope halos have been identified, lesson smaller than the pyrope halo of the world-famous Snap-Lake deposit (Canadian Shield).

The noted geological and geophysical factors and significant permeability of the crystalline foundation of the node provide important arguments for its classification as a first-stage area for prospecting for possible indigenous sources of diamonds of basite-ultrabasite, including kimberlite-lamproitemagmatism, within the Berdychiv Uplift.

**Key words:** Ukrainian Shield, Khmilnyk gravity minimum, leucogranite intrusion, three-dimensional density model, radon sources, uranium occurrences, alkaline gabbro-diabases, diamonds.

### References

Bondarenko, S.M., Stepaniuk, L.M., Karly, Z.V., Syomka, V.O., Donskyi, M.O., & Syomka, L.V. (2015). Khmilnytsia ore occurrence of potassi-

um-uranium formation: mineralogy, geochemistry, time of formation (Ukrainian Shield). *Mineralogical Journal*, 37(4), 106—122 (in Ukrainian).

- Vyshnevskiy, O.A., Pavliuk, O.V., & Pavliuk, V.M. (2012). Pyropies from the Middle Sarmatian deposits of the Upper Bug area (Ukraine). *Mineralogical Journal*, 34(1), 25—34 (in Ukrainian).
- Scherbak, N.P. (Ed.). (2008). *Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic*. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Gerasimov, Yu.G. (1960). *Report on prospecting works of the party № 32 in the NW part of the UKM for the period of 1956—1960*. Kiev (in Russian).
- Germanov, B.S., Stolyarenko, K.D., Lukash, V.V., Matsneva, L.N., Voynovsky, A.S., Stroyev, V.M., Syrovatko, N.A., Smirnova, M.B., Tyudenev, G.M., Kotlyar, B.B., & Metalidi, I.S. (1988). *Results of geophysical and geochemical studies with the aim to prepare the basis for geologic survey of the scale of 1:50 000 on the area of sheets M-35-91-G, -92-A, V, G (south), -93-V: Report of Volyn geophysical and prospecting-surveying parties for 1985—1988*. Kiev (in Russian).
- Gintov, O.B. (2014). Scheme of periodization of stages of faulting in the earth's crust of the Ukrainian Shield — new data and consequences. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 36(1), 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145> (in Russian).
- Gintov, O.B., Orliuk, M.I., Yentyn, V.A., Pashkevych, I.K., Mychak, S.V., Bakarzhieva, M.I., Shymkiv, L.M., & Marchenko, A.V. (2018). Structure of the Western and Central parts of the Ukrainian Shield. Controversial issues. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 40(6), 3—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151000> (in Ukrainian).
- State geological map of Ukraine. Scale 1:200 000. Central Ukrainian series. Sheet: M-35-XXII (Starokostiantyniv). Explanatory note*. (2007a). Kyiv: State Geological Service, Northern State Regional Geological Enterprise «Pivnichgeologiya», 242 p. (in Ukrainian).
- State geological map of Ukraine. Scale 1:200 000. Central Ukrainian series. Sheet: L-36-I (Liubashivka). Explanatory note*. (2007b). Kyiv: State Geological Service, 250 p. (in Ukrainian).
- Dovgan, R.M., Yentyn, V.A., & Pavliuk, V.M. (2009). Khmelnytsk-Odessa orthocraton as the main lithospheric megastructure of the margin of the East European platform and its prospecting attractiveness for diamonds. *Mineral Resources of Ukraine*, (1), 6—10 (in Russian).
- Dovgan, R.M., Pavliuk, V.M., & Yentyn, V.A. (2004). Zhdanov ore occurrence of noble metals of copper and uranium and its prospects. *Materials of the scientific and technical meeting «Geology and genesis of ore deposits of Ukraine (current state, new approaches, problems, solutions)»*, Kyiv, April 24—29 (pp. 132—134) (in Ukrainian).
- Dovgan, R.M., Pavliuk, V.M., Yentyn, V.A., Tsymbal, Yu., & Grinin, R.A. (2008). *Prospecting for indigenous diamond deposits within the Berdychiv uplift (1991—2008)*. Kyiv: Funds of the State Enterprise «Ukrainian Geological Company». Book 1, 272 p., Book 2, 210 p. (in Ukrainian).
- Egorov, V.I. (1959). *Report on the work of the Shepetovka geophysical party for 1957—1958*. Kiev, 245 p. (in Russian).
- Yentyn, V.A. (2012). *Natural geophysical phenomena of Ukraine*. Kiev. Publishing House UkrDGRI, 76 p. (in Russian).
- Yentyn, V.A., Gintov, O.B., Mychak, S.V., & Yushin, A.A. (2015). Structure of Moldovian iron ore deposit (Ukrainian shield) according to geological and geophysical data and its possible endogenous nature. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 37(4), 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i4.2015.111118> (in Russian).
- Yentyn, V.A., Gintov, O.B., Mychak, S.V., Pavliuk, V.M., & Nikolayevsky, V.P. (2023a). Prospects of the Bug mining district as an agglomeration of ores and non-metallic mineral diggings for the Ukrainian national economy in the post-war period. *Geofizichnyi Zhurnal*, 45(6), 3—35. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i6.293305> (in Russian).
- Yentyn, V.A., Gintov, O.B., Orliuk, M.I., & Marchenko, A.V. (2023b). Local magnetic anomalies of the Ukrainian Shield as indicators of the manifestation of different age stages of mid-channel magmatism. *Geofizichnyi Zhurnal*, 45(2), 44—61. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i2.278322> (in Ukrainian).
- Yentyn, V.A., Guskov, S.I., Dzyuba, B.M., Gintov, O.B., Orlyuk, M.I., & Mychak, S.V. (2020).

- On the question of possible degassing nature of some local structures of concentric-zonal structure on the territory of Volyn-Podolsk plate and western part of the Ukrainian Shield and ways of their further study. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 42(6), 36—58. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i6.2020.222282> (in Russian).
- Yentin, V.A., Shimkiv, L.M., Nechaeva, T.S., Dzyuba, B.M., Gintov, O.B., Pashkevych, I.K., & Krasovskiy, S.S. (2002). *Preparation of geophysical basis of tectonics map of Ukraine of the scale of 1:1000 000*. Kyiv: Geoinform of Ukraine, 55 p. (in Ukrainian).
- Zinchuk, N.N., Dukardt, Yu.A., & Boris, E.I. (2004). *Tectonic aspects of kimberlite fields forecasting*. Novosibirsk: Sibtekhnoreserv, 166 p. (in Russian).
- Ivanov, A.S., Baysarovich, M.N., & Grigoriev, V.N. (1974). *Report on the results of preliminary and detailed exploration of groundwaters for water supply in Khmelnik, Vinnitsa area, Ukrainian SSR (1972—1974)*. Kiev (in Russian).
- Ivanchenko, N.I., Stomachenko, L.A., & Denisyuk, M.A. (1969). *Report on the works of the complex geological and hydrogeological survey at a scale of 1:50 000 lists of M-35-92-B, M-35-92-G (n.h) and M-35-93-A (w.h.), carried out in 1965—1969*. Kiev (in Russian).
- Kovalenko-Zavoyskiy, V.M., & Ivashchenko, I.M. (2006). Mathematical support for the interpretation of the field of regional magnetic anomalies. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 28(5), 18—30 (in Ukrainian).
- Correlation chronostratigraphic scheme of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Explanatory note.* (2004). Kyiv, 30 p. (in Ukrainian).
- Lavrov, D.A., & Shcherbak, N.P. (1963). *Report on prospecting for rare metals in the Upper Bug area and Dniester area for 1960—1963*. Kiev (in Russian).
- Matsiuk, S.S., Tsymbal, S.M., Tsymbal, Yu.S., & Pavliuk, V.M. (2004). On the indigenous sources of diamond mineral-satellites from sedimentary rocks of the southwestern part of the Ukrainian Shield. In *Prospects of diamond bearing capacity of the territory of Ukraine* (pp. 96—105). Kyiv: UkrDGRI (in Ukrainian).
- Myznikov, D.F., & Grishchenko, S.D. (1982). Report on the results of detailed exploration of the Khmelnik deposit of mineral radon waters in the Vinnytsa region of the Ukrainian SSR for 1979—1981. Kiev (in Russian).
- Mychak, S.V. (2015). Kinematics of the formation of the western and central parts of the Ukrainian Shield in the period of 2.05—2.02 Ga. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 37(1), 83—99. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111327> (in Russian).
- Starostenko, V.I., & Gintov, O.B. (Eds.). (2018). *Essays on the geodynamics of Ukraine*. Kiev: VI EN EY, 465 p. (in Russian).
- Pavliuk, V.M., & Pavliuk, O.V. (2022). Chrom-niobium rutile of the Berdychiv paleo-uplift and its western slope. *Geological structure and minerals of Ukraine: Collection of theses of the All-Ukrainian scientific conference (Kyiv, October 12—13, 2022)* (pp. 196—199) (in Ukrainian).
- Piyar, Yu.K., & Podtelok, P.P. (1974). *Geological maps at a scale of 1:50 000 of the territory of the sheets M-35-80-B and M-35-80-G: Report of the geological party No. 1 and the Volyn geophysical party for 1972—1974*. Kiev (in Russian).
- Plohotnychenko, D.I. (1969). *Report of Korostyshev party No. 49 for 1968 on specialized preparation of areas for deep prospecting of uranium deposits*. Kiev (in Russian).
- Polivanchuk, A.A., & Belanov, V.M. (1960). *Report on works of Volyn geophysical party for 1957—1959, Book 1*. Kiev, 208 p. (in Russian).
- Pochtarenko, V.I., & Bochay, L.V. (1971). *Report on the results of depth mapping on the scale of 1:200 000. Sheet M-35-XXII (Starokonstantinov). Geological survey party № 22, 1968—1971*. Kiev (in Russian).
- Rybalt, B.M. (2002). *Geological structure and minerals of the upper flow of the Southern Bug River. Report on the group geological survey at a scale of 1:50 000 with general searches of the territory of sheets M-35-91-G; -92 A, V, G (south); -93-V*. Kiev (in Russian).
- Sollogub, V.B. (1986). *Lithosphere of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 184 p. (in Russian).
- Starostenko, V.I., Legostaeva, O.V., Makarenko, I.B., & Savchenko, A.S. (2015). Complex of programs for automated interpretation of potential field data. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 37(1), 42—

52. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111322> (in Russian).
- Stepanyuk, L.M. (2000). Geochronology of the Precambrian of the western part of the Ukrainian Shield (Archean-Paleoproterozoic). *Doctor's thesis*. Kiev, 34 p. (in Ukrainian).
- Stepaniuk, L.M. (2024). *Monazitometry of the Ukrainian Shield (Volyn and Dniester-Bug megablocks)*. Kyiv. Publishing House «Akadempriodyka», 232 p. (in Ukrainian).
- Volodin, D.F. (1993). *Stratigraphic schemes of the Phanerozoic and Precambrian of Ukraine*. Kiev, 240 p. (in Russian).
- Strelkova, N.E., Denisevich, A.I., & Volovnik, B. Ya. (1960). *Geological map of the sheet M-35-XXII (Starokonstantinov). Report of the Starokonstantinov party of the Lvov expedition for 1957—1959*. Kiev (in Russian).
- Gurskyi, D.S., & Kruglov, S.S. (Eds.). (2007). *Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1000 000. P. 1. Explanatory note*. Kyiv: UkrDGRI, 95 p. (in Ukrainian).
- Teslenko, A.V., & Sokolova, K.M. (1959). *Report on the work of the aerogeophysical party for 1958—1959*. Kiev (in Russian).
- Usenko, O.V. (2024). Thermodynamic conditions of granitization and metamorphism of rocks in the northwestern part of the Ukrainian Shield. *Geofizychnyi Zhurnal*, 46(2), 34—52. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i2.294984> (in Ukrainian).
- Ushakova, N.I., & Tsimbal, P.N. (1959). *Report on the works of Vinnitsa geophysical party for 1958*. Kiev (in Russian).
- Scherbak, N.P. (1975). *Petrology and geochronology of the Precambrian of the western part of the Ukrainian Shield*. Kiev: Naukova Dumka, 271 p. (in Russian).
- Scherbakov, I.B. (2005). *Petrology of the Ukrainian Shield*. Lvov: ZUKTS, 366 p. (in Russian).
- Yanenko, O.G., Zhabrovets, V.I., Malusha, N.P., & Berezinets, G.D. (1960). *Report of Sokolov Geophysical Party for 1966. Book 1*. Kiev, Funds of DP «UGK», 102 p. (in Russian).
- Chulliat, A., Macmillan, S., Alken, P., Beggan, C., Nair, M., Hamilton, B., Woods, A., Ridley, V., Maus, S., & Thomson, A. (2015). *The US/UK world magnetic model for 2015—2020*. National Centers for Environmental Information, NOAA. Retrieved from <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/510709/>.
- Geophysical Software Solutions. Potent v.4.17.01. (2017). Retrieved from <https://www.geoss.com.au/index.html>
- Pokhilenko, N.P., Sobolev, N.V., Rentsky, V.N., Hall, A.E., & Taylor, L.A. (2004). Crystalline inclusions and C isotope ratios in diamonds from the Snap Lake/King Lake kimberlite dyke system: evidence of ultradeep and enriched lithospheric mantle. *Lithos*, 77, 57—67. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.019>.