

Тривимірна густинна модель Тарасівської базит-метабазитової структури Голованівської шовної зони Українського щита

*В.І. Старостенко, І.Б. Макаренко, О.С. Савченко,
П.Я. Купрієнко, О.В. Легостаєва, 2022*

Інститут геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 2 лютого 2022 р.

Уперше за даними тривимірного густинного моделювання побудовано схему розподілу густини на поверхні фундаменту Тарасівської базит-метабазитової структури площею 2,5×5,5 км, що поширюється на глибину не більше 3—4 км. Детально вивчено розподіл густини до глибини 5 км та визначено глибини залягання геологічних тіл. Новим у методичному плані є застосування обвідної щабелеподібної межі знизу, форма представлення якої зумовлена передбачуваною глибиною залягання тіл із різною густиною. Так, глибина тіл із підвищеною густиною біля поверхні фундаменту становить 2 км, гранітоїдів — 3 км, чарнокітів та ендербітів нерозчленованих — 4 км. Показано, що апогаброїди та апонорити з середньою густиною 2,80—2,90 г/см³ (меншою мірою змінені породи базит-метабазитового складу), які утворюють центральну частину Тарасівської структури, поширюються до глибини 2 км без зміни кута їх падіння, що підтверджується даними сейсмометрії та електророзвідки. За комплексом наявних даних проведено вибір та обґрунтування густини вміщуючих порід чарнокіт-ендербітового ряду, які характеризуються густиною 2,75—2,76 г/см³ і утворюють у межах Тарасівської структури виступ близько 1—2 км. Крайові частини структури поширюються глибше відносно центральної, що свідчить проти синклінальної будови. За широтним розломом зсувного характеру, що проходить через центральну частину, Тарасівська структура поділяється на дві частини: північну, менш щільну, та ущільнену південну. Показано, що у східній та північно-східній частинах структури зони розломів роздроблені та ущільнені. У деяких із них густина становить 2,77 і 2,80 г/см³ по всьому розрізу, що можна пояснити перетином розломами в таких місцях високощільних порід. Відсутність підвідних каналів та малої глибинності Тарасівської структури може бути пояснена двоюко: або канали базитової інтрузії, що утворює структуру, швидше за все, мають невеликий діаметр (або діаметри), через що не можуть бути зафіксовані гравіметриєю; або потужні зсувні процеси, що фіксуються в межах Голованівської шовної зони, призвели до утворення детачменту на глибині (сучасній) 3—4 км, внаслідок чого верхня частина Ятранського блоку разом з Тарасівською базит-метабазитовою структурою досить сильно пересунулася на південь, зірвавши її з кореневої частини. Останнє твердження вважається найімовірнішим.

Ключові слова: Український щит, Голованівська шовна зона, Тарасівська базит-метабазитова структура, тривимірна густинна модель.

Вступ. Тарасівська базит-метабазитова структура розташована в центрі Ятранського блоку Голованівської шовної зони Українського щита, має розміри 6×4 км, є унікальним об'єктом кристалічного фундаменту специфічної внутрішньої будови

і знаходиться в полі розвитку різних гранітоїдів, переважно чарнокіт-ендербітового ряду (рис. 1).

Структура вивчена геологічною зйомкою масштабу 1:50 000, що супроводжувалась деталізованими геофізичними ро-

ботами. В результаті цих досліджень було визначено розміри, зовнішню форму та речовинний склад кристалічних порід Тарасівської структури, представлених в основному метаморфізованими базитами габро-норитового ряду та їх похідними.

На площі Тарасівської базит-метабазитової структури виконано гравіметричні та магнітні зйомки масштабу 1:50 000, 1:25 000, проведено глибинне геологічне картування масштабу 1:200 000 та 1:50 000, пробурені свердловини картувально-геохімічного картування та колонкового буріння, у тому числі кілька похилих. З метою вивчення глибинної будови були проведені в профільному варіанті детальні сейсмічні роботи методом МОВ—ОГТ та виконано їх сейсмогустинне моделювання [Шимків, Ентин, 1988].

Перша геологічна карта Тарасівської структури побудована в 1976 р. [Виноградов и др., 1976], яка з урахуванням нових матеріалів буріння, петрології та результатів якісної інтерпретації площинних високоточних зйомок гравірозвідки та магніто-розвідки масштабу 1:10 000 перебудована в новому варіанті (див. рис. 7 у праці [Гинтов и др., 2018]). Геолого-геофізичні таксони, розроблені в результаті вивчення Тарасівської структури детальними геофізичними методами, дали змогу досить надійно розчленувати верхню частину розрізу.

За даними експериментальних низькочастотних МТ/МВ спостережень, результатів їх обробки та інтерпретації побудовано докладну тривимірну модель розподілу питомого опору Тарасівської базит-метабазитової структури. У ній чітко виділяються поверхневий (до глибини 100 м) та глибинний (2—10 км) шари, причому останній несе суттєве навантаження і деякі блоки просторово збігаються. Тарасівська структура фрагментарно проявляється у низькому електричному опорі. Розломам різного рангу та їх перетинам властива висока електропровідність, яка може бути пояснена особливим складом порід земної кори (графітизацією, сульфідизацією тощо) або флюїдизацією різного

походження [Бурахович та ін., 2018; Кушнір та ін., 2019].

Кількісна інтерпретація магнітних аномалій Тарасівської структури не підтверджує уявлення про її синклінальний характер. Зовнішні границі тіл, які її складають, мають або вертикальне, або периклінальне падіння. Відносно мала товщина магнітоактивної товщі (до 250—800 м) може свідчити про глибокий ерозійний зріз інтрузивної структури і залишках її дна. При цьому підвідний канал інтрузії достатньо вузький і тому не фіксується геофізичними методами. Потребується буріння свердловин глибиною не менше 500 м, в першу чергу в межах найбільш інтенсивних локальних гравітаційних аномалій [Геологічна..., 2020].

Крім того, Тарасівська структура займає центральне положення всередині більш крупної субкільцевої структури діаметром біля 10 км, представленої ендербітами, чарнокітами і невеликими тілами піроксенових кристалосланців. Це може свідчити про метаморфічний і метасоматичний вплив центральної інтрузії на геологічне середовище, що її оточує.

Відомо, що Тарасівська базит-метабазитова структура розміщена поблизу зони різкого зсуву поділу Мохо, що субмеридіонально січе Голованівську шовну зону. З нею пов'язана потужна зона розломів, через яку могли впроваджуватися всі базитові масиви — структури з аномально високою густиною на поверхні фундаменту — центральної частини Голованівської шовної зони [Соллогуб, 1986; Павлюк та ін., 2008, Старостенко и др., 2018; Гинтов и др., 2018]. Про первинну магматичну природу базитів свідчать геологічні дані, згідно з якими багато тіл апогаброїдів — двопіроксенових, амфібол-піроксенових кристалосланців та габро-амфіболітів — містять релікти власне габро та норитів при поступових переходах до них.

Раніше Тарасівська базит-метабазитова структура досліджена методом тривимірного густинного моделювання при вивченні центральної частини Голованівської шовної зони в масштабі 1:50 000 [Старостенко и др., 2018] і була представ-

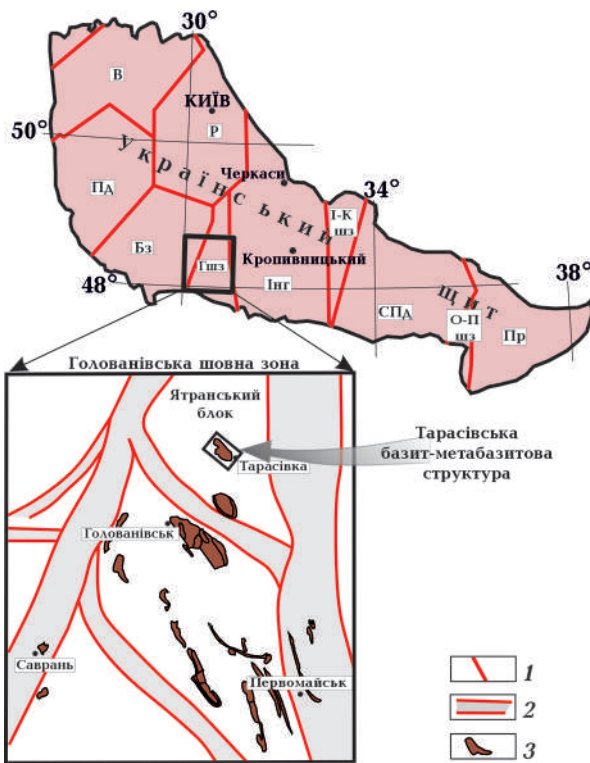


Рис. 1. Схема розташування Тарасівської базит-метабазитової структури. 1 — міжмегаблокові розломи Українського щита; 2 — зони розломів центральної частини Голованівської шовної зони; 3 — контури структур з аномально високою густиною на поверхні фундаменту. Мегаблоки УЩ: В — Волинський; Пд — Подільський; Р — Росинський; Бг — Бузький; Инг — Ингульський; СПд — Середньопридніпровський; Пр — Приазовський. Шовні зони: Гшз — Голованівська; І-К шз — Ингулецько-Криворізька; О-П шз — Оріхово-Павлоградська.

Fig. 1. Scheme of the location of the Tarasivka mafic-metamafic structure: 1 — inter-megablock faults of the Ukrainian shield; 2 — fault zones of the central part of the Golovanivsk suture zone; 3 — contours of structures with an abnormally high density on the basement surface. *USh megablocks*: В — Volynsky; Пд — Podolsky; Р — Rosinsky; Бг — Bugsky; Инг — Ingulsky; СПд — Srednepriidneprovsky; Пр — Priazovsky. *Suture zones*: Гшз — Golovanivsk; І-Кшз — Inguletsko-Krivi Rih; О-Пшз — Orekhovo-Pavlograd.

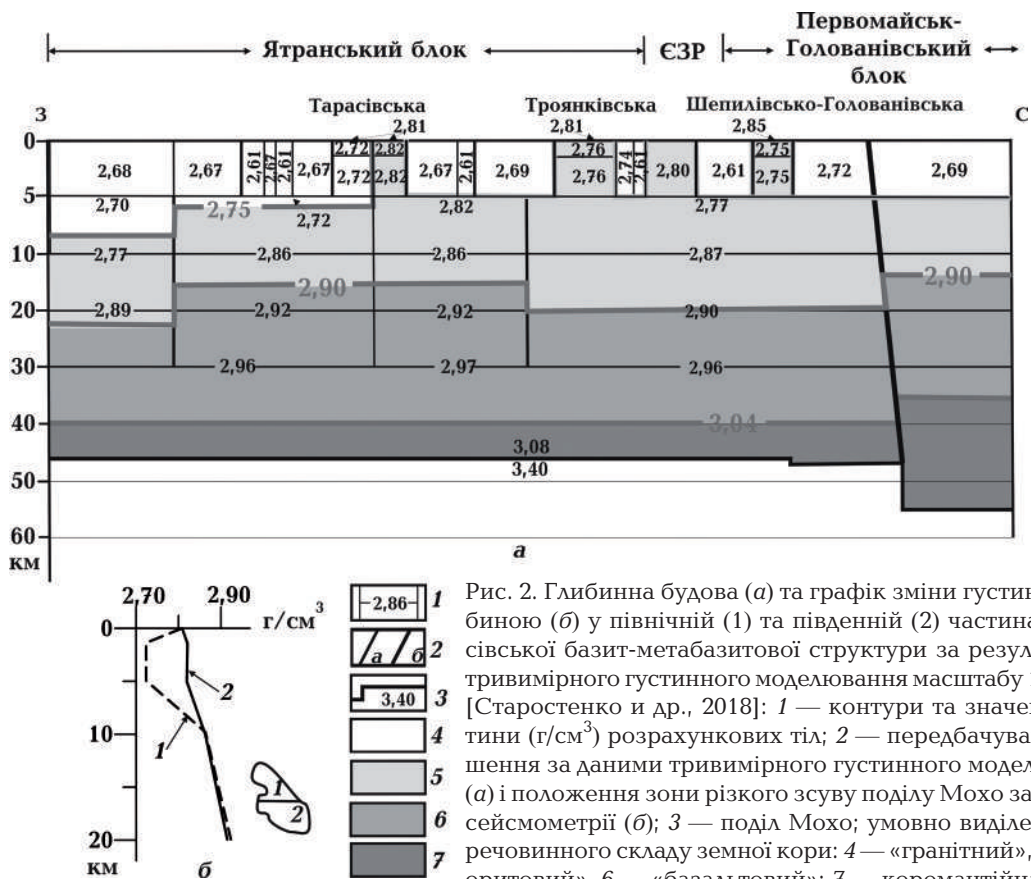


Рис. 2. Глибинна будова (а) та графік зміни густини з глибиною (б) у північній (1) та південній (2) частинах Тарасівської базит-метабазитової структури за результатами тривимірного густинного моделювання масштабу 1: 50 000, [Старостенко і др., 2018]: 1 — контури та значення густини (г/см³) розрахункових тіл; 2 — передбачувані порушення за даними тривимірного густинного моделювання (а) і положення зони різкого зсуву поділу Мохо за даними сейсмометрії (б); 3 — поділ Мохо; умовно виділені шари речовинного складу земної кори: 4 — «гранітний», 5 — «діоритовий», 6 — «базальтовий»; 7 — коромантійна суміш. ЄЗР — Ємільківська зона розломів.

Fig. 2. Deep structure (a) and a graph of density changes with depth (b) in the northern (1) and southern (2) parts of the Tarasivka mafic-metamafic structure according to the results of three-dimensional density modeling on a

scale of 1:50 000, after [Starostenko et al., 2018]: 1 — contours and density value (g/cm^3) of estimated bodies; 2 — expected disturbances according to 3D density modeling (a) and the position of the abrupt displacement zone of the Moho discontinuity according to seismic data (b); 3 — Moho discontinuity; conventionally identified layers of the material composition of the Earth's crust: 4 — «granite», 5 — «diorite», 6 — «basalt»; 7 — crust-mantle mixture. E3P — Emilivka fault zone.

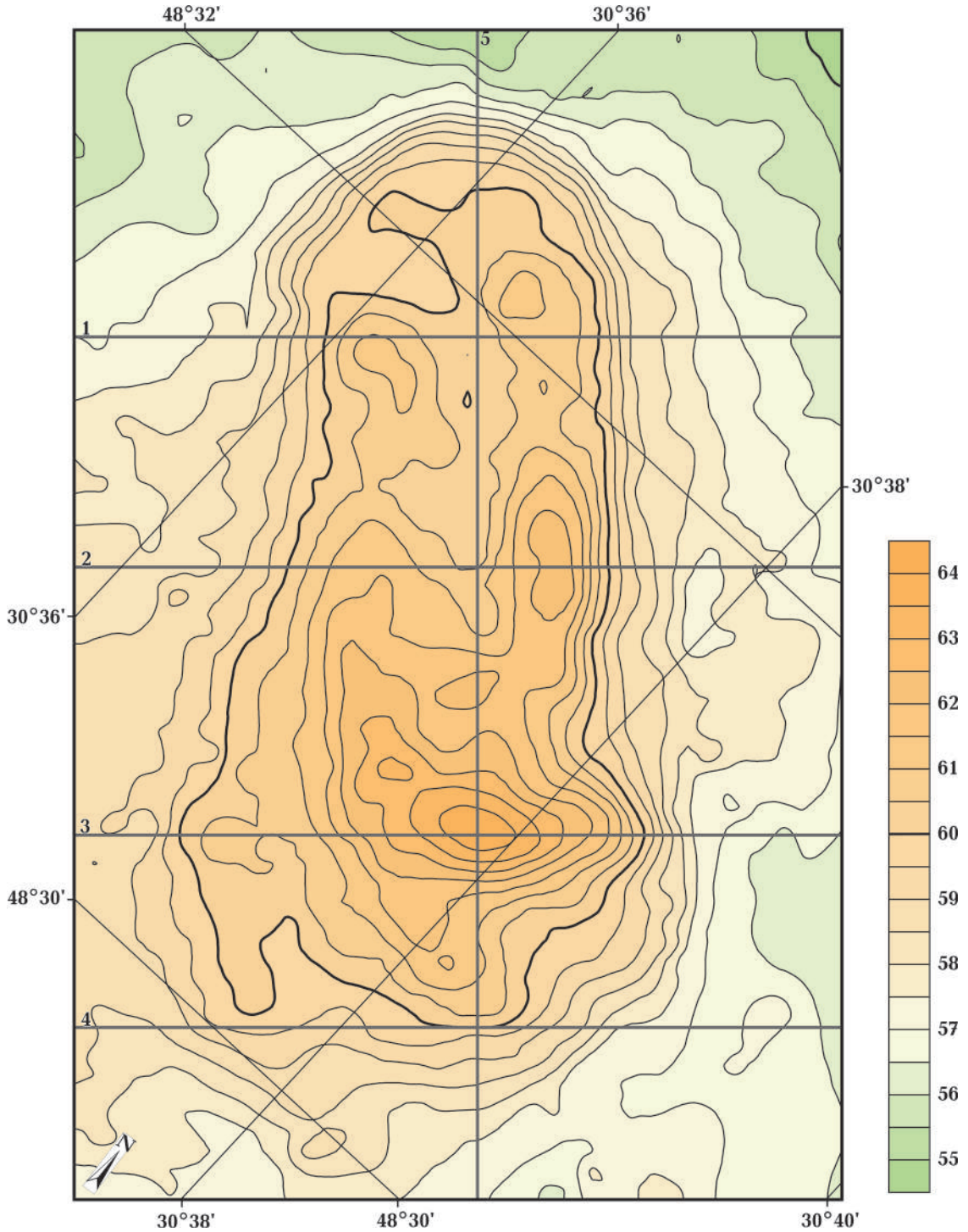


Рис. 3. Карта аномалій сили тяжіння базит-метабазитової Тарасівської структури, масштаб 1:10 000, [Гинтов и др., 2018]. Перетин ізоліній 0,5 мГал.

Fig. 3. Map of gravity anomalies of the mafic-metamafic Tarasivka structure, scale 1:10000, after [Gintov et al., 2018]. Cross section of isolines 0,5 mGal.

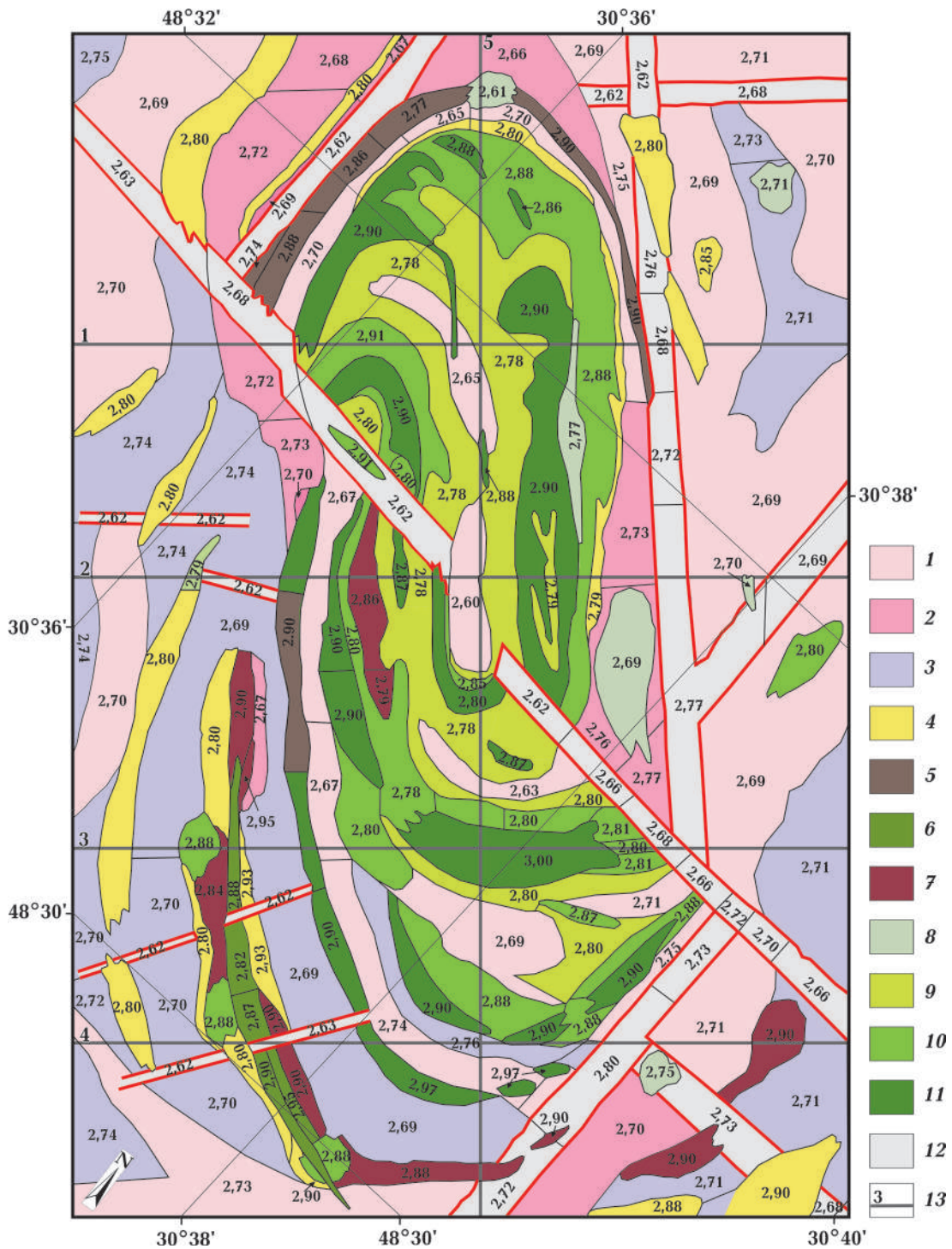


Рис. 4. Схема розподілу густини (г/см^3) на поверхні кристалічного фундаменту. Найменування геолого-геофізичних таксонів за [Гинтов и др., 2018]: 1 — граніти сірі та рожеві аплітоїдні та пегматоїдні; 2 — гранітоїди та мігматити амфібол-біотитові та біотит-амфіболові, рідше піроксен-біотитові; 3 — чарнокіти та ендербіти нерозчленовані; 4 — кристалосланці та мігматити амфібол-піроксенів; 5 — скарноїди кварц-магнетит-піроксенів та гранат-кварц-магнетит-гіперстенів з прошарками кальцифірів, гнейсів силіманіт-кордієритових, дистен-кордієрит-гранатових; 6 — гнейси силіманіт-кордієритові; 7 — кристалосланці гранат-піроксенів, двопіроксенів, амфібол-піроксенів; 8 — кристалосланці гранат-амфіболові, амфібол-гранатові; 9 — передбачувані тіла серпентинітів; 10 — апогаброїди амфіболізовані, біотизовані з прошарками кальцифірів, мігматити біотит-амфіболові; 11 — апогаброїди—кристалосланці піроксен-

амфіболові, рідше габро та габро-амфіболіти; 12 — апонорити—кристалосланці гранат-ортопіроксенові, амфібол-піроксенові, рідше норити та габро-норити; 13 — ілюстраційні профілі, вздовж яких побудовані густинні розрізи.

Fig. 4. Scheme of density distribution (g/cm³) on the surface of the crystalline basement. Names of geological and geophysical taxons according to [Gintov et al., 2018]: 1 — gray and pink aplitoid and pegmatoid granites; 2 — granitoids and migmatites, amphibole-biotite and biotite-amphibole, rarely pyroxene-biotite; 3 — undivided charnockites and enderbites; 4 — amphibole-pyroxene crystalline schists and migmatites; 5 — quartz-magnetite-pyroxene and garnet-quartz-magnetite-hypersthene skarnoids with interlayers of calciphyres, sillimanite-cordierite, disthene-cordierite-garnet gneisses; 6 — sillimanite-cordierite gneisses; 7 — garnet-pyroxene, bipyroxene, amphibole-pyroxene crystalline schists; 8 — garnet-amphibole, amphibole-garnet crystalline schists; 9 — estimated bodies of serpentinites; 10 — amphibolized apogabbroids, biotitized with calciphyre interbeds, biotite-amphibole migmatites; 11 — apogabbroids—pyroxene-amphibole crystalline schists, less often gabbro and gabbro-amphibolites; 12 — aponorites—garnet-orthopyroxene, amphibole-pyroxene crystal schists, less often norites and gabbro-norites; 13 — illustrative profiles along which density sections are built.

лена на поверхні фундаменту основними породами із середньою густиною 2,81 г/см³, яка у процесі розрахунків зазнала зміни у бік зменшення (з 3,00 до 2,81 г/см³). При моделюванні виникла потреба розділити Тарасівську структуру на дві приблизно рівні частини (північну та південну), що відрізняються між собою значенням густини в інтервалі глибин 1,5—10 км (рис. 2). Лінія розділу проходить за широтним розломом зсувного характеру, який перетинає центральну частину Тарасівської структури [Гинтов и др., 2018]. До глибини 1,5 км густина знижується від 2,81 до 2,72 г/см³ у південній частині та підвищується від 2,81 до 2,82 г/см³ у північній. В інтервалі глибин 1,5—5 км спостерігається зона постійної густини: 2,82 г/см³ у південній та 2,72 г/см³ у північній частині Тарасівської структури. Потім густина збільшується до 2,86 г/см³ на глибині 10 км. В інтервалі глибин 10—30 км присутні незначні коливання густини (0,01—0,02 г/см³) у той чи інший бік.

Морфологія та петрологічний склад порід Тарасівської структури знаходять відображення в аномальному гравітаційному полі, згідно з яким визначається її еліпсоїдна форма у плані та внутрішня концентрично-зональна будова [Гинтов и др., 2018]. Гравітаційне поле центральної частини структури має мозаїчний вигляд із наявністю локальних максимумів різної інтенсивності, розмірів та форми, що визначають різноманітність речовинного складу порід, що її складають (рис. 3). Зонам підвищених значень гравітаційного поля

відповідають мало змінені породи базитового складу — апонорити та апогаброїди. У південній частині Тарасівської структури спостерігається найбільший за розмірами та інтенсивністю максимум поля сили тяжіння, що у плані збігається з великим тілом апоноритів — кристалосланців гранат-ортопіроксенових, амфібол-піроксенових, рідше норитів та габро-норитів. Низькими значеннями характеризуються ділянки розповсюдження кристалосланців двопіроксенових та амфібол-піроксенових, амфіболітів та кальцифірів, що утворилися в результаті процесів регіонального метаморфізму, локального метасоматозу, скарнірування, гранітизації, амфіболітизації тощо [Гинтов и др., 2018]. Найменшим значенням поля відповідають області розвитку різних гранітоїдів, переважно чарнокіт-ендербітового ряду, які обрамляють власне Тарасівську структуру (див. рис. 3, 4).

Методика та технологія побудови тривимірних густинних моделей докладно описана в [Макаренко, 2019] та включає основні положення, програмний комплекс, який використовується для моделювання, а також структуру та параметризацію моделі. Завершальний етап моделювання залежить від поставлених завдань. В даному випадку метою роботи було детальне вивчення розподілу густини на поверхні фундаменту Тарасівської структури та зміна її значень з глибиною, а також визначення глибини залягання геологічних тіл. Результати моделювання також мали вирішити питання про внесення змін до нової геологічної карти Тарасівської структури,

яка складена за геологічними матеріалами та результатами якісної інтерпретації сучасних геофізичних зйомок [Гинтов и др., 2018].

Для Тарасівської базит-метабазитової структури виконано тривимірне густинне моделювання в масштабі 1:10 000. З огляду на невелику площу досліджуваної структури, а також різних масштабів робіт при вивченні цієї структури та проведених раніше розрахунків густинної неоднорідності центральної частини Голованівської шовної зони (Ятранський блок), до складу якого вона входить, до методики гравітаційного моделювання були додані додаткові положення: 1) поділ поля на регіональну і локальну складові. Виключивши гравітаційний ефект від структур Ятранського блоку, тобто регіональну складову, отримали різницеве поле, що характеризує залишковий ефект від тіл, що складають Тарасівську структуру, і надалі працювали з ним; 2) вибір та обґрунтування густини вміщуючих порід, що оточують структуру.

Новим у методиці можна вважати застосування обвідної межі знизу, яка характеризується щаблеподібним виглядом. Форма уявлення цієї межі зумовлена передбачуваною глибиною залягання тіл із різною густиною. Так, глибина тіл із підвищеною густиною біля поверхні фундаменту становить 2 км, гранітоїдів — 3 км, чарнокітів та ендербітів нерозчленованих — 4 км.

При розрахунках враховано наявність осадових відкладів невеликої потужності (30 м) із густиною $2,35 \text{ г/см}^3$.

Проведено вибір та обґрунтування густини вміщуючих порід. Враховуючи весь комплекс даних було зроблено висновок, що це ендербіти-чарнокіти. Спочатку була прийнята густина вміщуючих порід $2,72 \text{ г/см}^3$ [Гинтов и др., 2018], яка в процесі розрахунків не підтвердилася. В остаточній моделі прийнято значення $2,76 \text{ г/см}^3$ для області поширення тіл з підвищеною густиною, які представлені на поверхні фундаменту кристалосланцями, мигматитами, апогаброїдами, скарноїдами та апоноритами. Під гранітоїдами, чарнокітами та ендербітами густина вміщуючих порід

становила $2,75 \text{ г/см}^3$. За даними [Корчин и др., 2013] група ендербітів-чарнокітів УЩ найбільш численна та різноманітна за складом та структурними особливостями. Вона включає кілька різновікових, генетично пов'язаних між собою петрологічних комплексів, які відображають тривалий етап формування і становлення кори УЩ.

Ендербіти та генетично пов'язані з ними чарнокіти І.Б. Щербаков об'єднує у єдину групу чарнокітоїдів [Щербаков, 1975]. Для них, різних за мінералогічним складом, характерний широкий діапазон значень густини ($2,65\text{—}2,95 \text{ г/см}^3$), а серед вивчених чарнокітоїдів виділено групи, в яких найбільш імовірні значення густини становлять: 1) чарнокіти ($2,65\text{—}2,68 \text{ г/см}^3$); 2) плагіочарнокіти ($2,70\text{—}2,75 \text{ г/см}^3$); 3) ендербіти ($2,80\text{—}2,85 \text{ г/см}^3$); 4) основні грануліти ($2,90\text{—}2,95 \text{ г/см}^3$). До обґрунтування густини вміщуючих порід додатково до загальних даних по УЩ також були залучені дані по Середньому Побужжю, де густина вивчена за відібраними пробами керну свердловин, причому зразки порід чарнокіт-ендербітового комплексу відбиралися в місцях їх найбільшого розвитку (Верхнє Побужжя), а також у межах Голованівського блоку. Були отримані такі інтервали зміни густини для чарнокітоїдів: 1) чарнокіти ($2,65\text{—}2,68 \text{ г/см}^3$); 2) плагіочарнокіти ($2,68\text{—}2,77 \text{ г/см}^3$); 3) ендербіти ($2,72\text{—}2,88 \text{ г/см}^3$); 4) основні грануліти ($2,87\text{—}2,99 \text{ г/см}^3$). Таким чином, прийняті значення густини вміщуючих порід $2,75\text{—}2,76 \text{ г/см}^3$ цілком обґрунтовані та укладаються в інтервал зміни густини чарнокітоїдів за [Корчин и др., 2013].

При створенні першого наближення тривимірної густинної моделі Тарасівської структури враховувалася зміна густини за площею відповідно до петрофізичних даних. При необхідності бралися до уваги стрибкоподібна зміна густини у той чи інший бік, зони інверсії та зони з постійним градієнтом. На поверхні фундаменту контури розрахункових тіл приповерхневих об'єктів визначалися відповідно до морфології тіл нової геологічної карти Тарасівської структури (див. рис. 7

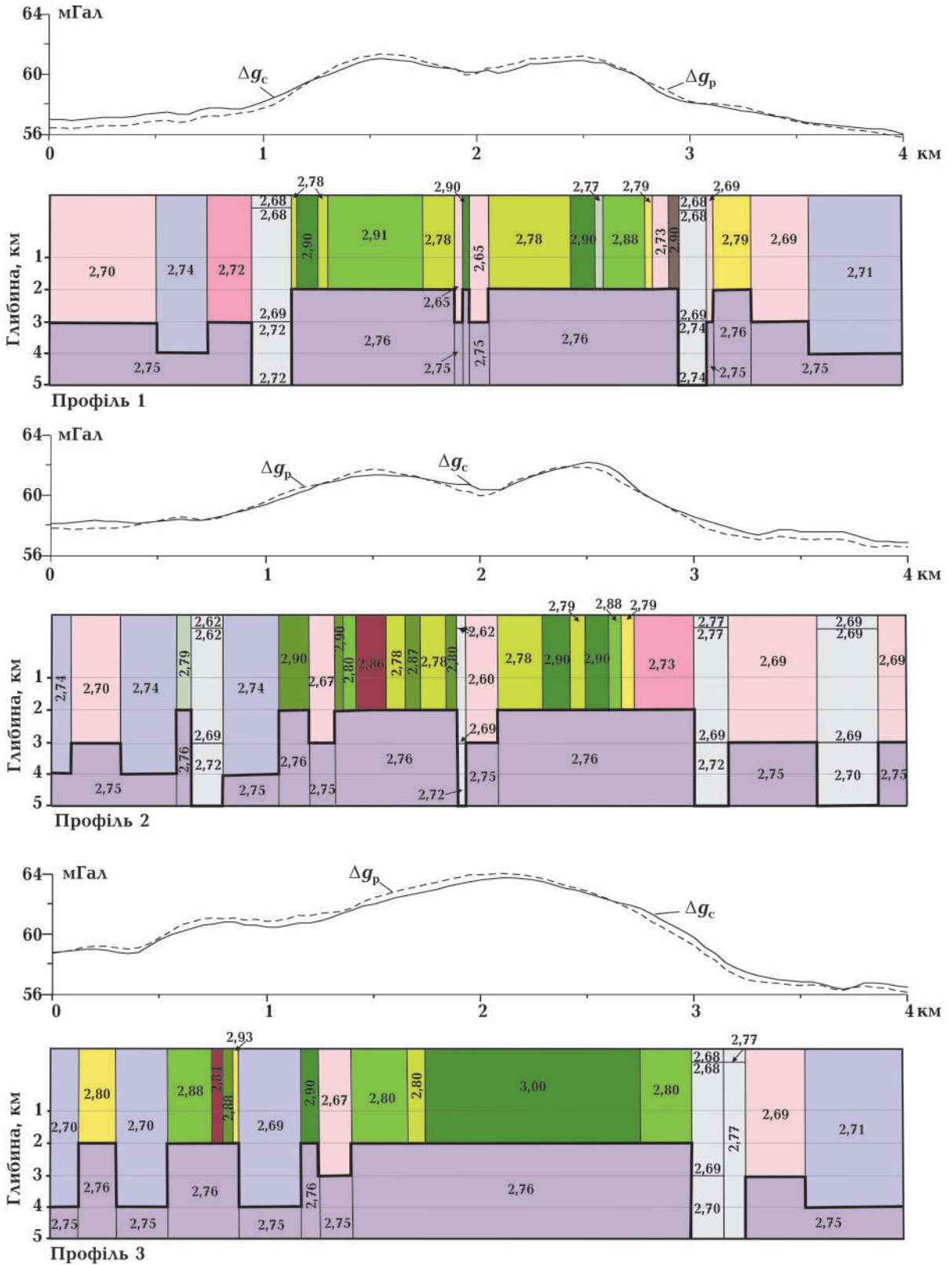


Рис. 5. Густинні розрізи земної кори (до глибини 5 км) вздовж ілюстраційних профілів (розташування див. на рис. 4). 1 — контури та значення густини (г/см^3) розрахункових тіл; 2 — обвідна межа знизу, форма представлення якої зумовлена ймовірною глибиною залягання тіл з різною густиною; 3 — вміщуючі породи чарнокіт-ендербітового ряду. Δg_c — аномальне гравітаційне поле, Δg_p — розрахункове поле.

у праці [Гинтов и др., 2018] та рис. 4 цієї статті). При густинній параметризації моделі використовувалися петрофізичні характеристики порід геолого-геофізичних таксонів до геологічної карти [Гинтов и др., 2018] (таблиця). Додатково були використані відомості про густину із літературних джерел [Красовский, 1981; Ярошук, 1983; Петрофизика, 1992; Азаров и др., 2008; Корчин и др., 2013; Гинтов и др., 2016].

Для врахування інформації про розподіл густини було використано програму Sрасетар [Старостенко и др., 2011], розрахунки проводилися при використанні

комплексу GMT-Auto [Старостенко и др., 2015] по мережі 0,05×0,05 км.

Результати та їх обговорення. Результати тривимірної густинної моделі представлені у вигляді схеми розподілу густини на поверхні фундаменту (рис. 4), таблиці (табл. 1), а також у вигляді густинних розрізів, на яких представлено розподіл густини в Тарасівській структурі до глибини 5 км (рис. 5).

За результатами моделювання глибина розрахункових тіл варіює від 2 до 4 км. У процесі розрахунків було перевірено варіанти поширення аномалієутворюючих

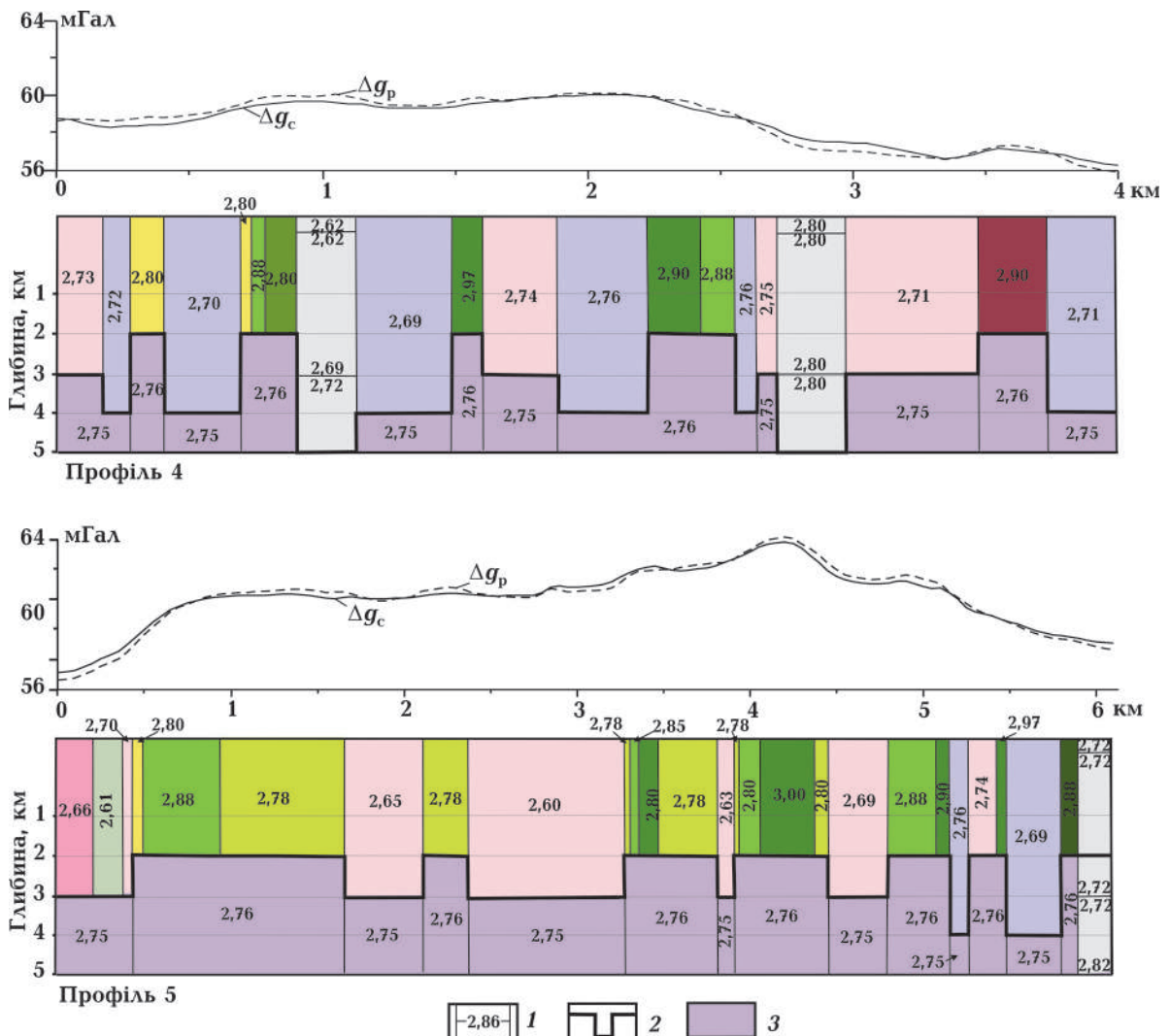


Fig. 5. Density sections of the Earth's crust (down to a depth of 5 km) along illustrative profiles (see location in Fig. 4). 1 — contours and density value (g/cm³) of estimated bodies; 2 — bypass boundary bottom, whose representation form is determined by the expected depth of occurrence of bodies with different densities; 3 — host rocks of the charnockite-enderbite series. Δg_c is the anomalous gravitational field, Δg_p is the calculated field.

порід (тобто з високою густиною) до 1,5; 2,0; 3,0; 3,5 км. Як показали розрахунки, найімовірніша глибина поширення щільних порід, що залягають у центральній частині структури, близько 2 км. Це значення глибини підтверджується сейсмічними даними, які засвідчили хвильову прозорість (повна відсутність відбивних майданчиків) структури, що фіксується в діапазоні глибин 0—2 (2,5) км. Сейсмічні результати стали також додатковим аргументом на користь правомочності уявлень про велику глибину поширення порід базит-метабазитового складу без зміни кута їх падіння. Дослідження методом МТЗ-МВП також свідчать на користь глибинності поширення щільних порід. Визначено, що до глибини близько 3 км породам Тарасівської структури притаманна низька однорідна електропровідність, що зазвичай властиво масивним і неслоїстим їх різницям [Бурахович та ін., 2018; Кушнір та ін., 2019].

Цікавим є зіставлення магнітної та густинної моделей Тарасівської структури. Відмінність у глибинах нижніх обмежень тіл, що її складають, — 250—800 м за магнітними даними та 2—3 км за гравітаційними — не можуть бути пояснені помилками кількісної інтерпретації. Швидше за все, це явище пов'язане із впливом поверхневих геохімічних процесів на різке збільшення намагніченості порід у верхніх горизонтах розрізу, тоді як аномалії сили тяжіння більш «чутливі» до глибинних частин структури [Геологічна..., 2020].

Граніти сірі та рожеві аплітоїдні та пегматоїдні в основному поширені у північно-західній частині ділянки досліджень та представлені окремими тілами у південно-західній та південно-східній частинах. Відповідно до геолого-геофізичних таксонів за результатами детального вивчення Тарасівської структури, інтервал густини для цих порід становить 2,65—2,69 г/см³ [Гинтов и др., 2018]. У процесі моделювання значення були збільшені до 2,66—2,73 г/см³. Найбільш підвищені значення густини (2,76—2,77 г/см³) спостерігаються в тілах, які примикають до зон розломів (див. рис. 4).

У північній, південній та західній частині ділянки досліджень спостерігаються великі області поширення гранітоїдів та мігматитів амфібол-біотитових та біотит-амфіболових, рідше піроксен-біотитових. При моделюванні густина цих порід (2,60—2,65 г/см³) залишилася відповідною даним [Гинтов и др., 2018] лише у центральній частині Тарасівської структури, де окремі тіла оточені апогаброїдами. На решті території в процесі моделювання густина гранітоїдів та мігматитів підвищена і становить 2,69 та 2,70 г/см³. У невеликих тілах, що примикають на заході до широтного розлому зсувного характеру, що проходить через центральну частину Тарасівської структури, густина ще вища — 2,72 г/см³.

У південній частині ділянки досліджень на поверхні фундаменту спостерігаються великі поля чарнокітів та ендербітів нерозчленованих із середньою густиною 2,69—2,70 г/см³. В окремих тілах на півночі та сході густина цих порід підвищена до 2,71 г/см³. Найбільші значення (2,74 г/см³) спостерігаються на південно-західному фланзі структури, де тіла чарнокітів та ендербітів примикають до широтного розлому та розломів вищого порядку (див. рис. 4). Породи чарнокіт-ендербітового ряду, що підстилають структуру, характеризуються густиною 2,75—2,76 г/см³ і утворюють у її межах виступ близько 1—2 км, що добре видно на розрізах (див. рис. 5).

Кристалосланці та амфібол-піроксенові мігматити представлені окремими тілами невеликих розмірів, розташованими по периферії ділянки досліджень. У більшості з них густина залишилася відповідною до геолого-геофізичних таксонів [Гинтов и др., 2018] і дорівнює 2,79—2,80 г/см³. Лише у двох тілах, які спостерігаються у східній частині, у процесі моделювання густина була збільшена до 2,88 та 2,90 г/см³ відповідно.

Скарноїди кварц-магнетит-піроксенові та гранат-кварц-магнетит-гіперстеннові з прошарками кальцифірів, гнейсів силіманіт-кордієритових, дистен-кордієрит-гранатових розташовані між гранітами та гранітоїдами і у вигляді вузької дуги обля-

мовують на північному заході центральної частини Тарасівської структури. Їхня густина змінюється від 2,86 до 2,90 г/см³. Лише у двох тілах, одне з яких примикає до передбачуваного тіла серпентинітів, інше – до зони розломів, густина менша і становить 2,77 та 2,74 г/см³ відповідно. Ще одне тіло скарноїдів є включенням у смугі поширення апоноритів у південно-західній частині ділянки досліджень. У ньому густина не зазнала змін у процесі моделювання. Її значення (2,90 г/см³) укладається в інтервал значень відповідно до [Гинтов и др., 2018].

Кристалосланці гранат-піроксенів, двопіроксенів, амфібол-піроксенів у вигляді вузької смуги входять до складу масиву кристалосланців різного генезису, розташованого відокремлено від центральної частини Тарасівської структури у південній частині ділянки досліджень. Область їх поширення роздроблена на безліч тіл, у яких густина змінюється від 2,82 до 2,90 г/см³.

Кристалосланці гранат-амфіболові, амфібол-гранатові розташовані тільки в південній та східній частині у вигляді окремих тіл, в яких густина дорівнює переважно 2,88—2,90 г/см³. Лише в окремих тілах, які знаходяться в центральній частині структури, вона змінюється у бік зменшення до 2,79 та 2,86 г/см³.

У всіх передбачуваних тілах *серпентинітів* густина вища порівняно з даними [Гинтов и др., 2018] і становить 2,61, 2,69, 2,70 г/см³. Тіло із густиною 2,75 г/см³ розташоване у східній частині ділянки досліджень у зоні розломів, в якій породи ущільнені до 2,78 г/см³ на глибині 5 км.

Апогабброїди амфіболізовані, біотизовані з прошарками кальцифірів присутні у внутрішній частині Тарасівської структури. У північній частині вони мають густину 2,78 г/см³, у південній — 2,78 та 2,80 г/см³.

Апогабброїди — кристалосланці піроксен-амфіболові, рідше габро, рідше норити та габро-норити — великою площею поширені в центральній частині Тарасівської структури та представлені трьома округлими локальними тілами у масиві кристалосланців різного генезису в півден-

ній частині ділянки досліджень. Густина цих порід зазнала змін у процесі моделювання у бік зменшення порівняно із густиною за геолого-геофізичними таксонами (2,91—2,99 г/см³). Вона дорівнює 2,80, 2,88 та 2,91 г/см³ на півночі внутрішньої частини Тарасівської структури та 2,78, 2,80, 2,81 та 2,88 г/см³ — на півдні. У трьох округлих локальних тілах густина має значення 2,88 г/см³.

Апонорити — кристалосланці гранат-ортопіроксенів, амфібол-піроксенів, рідше норити та габро-норити — представлені окремими витягнутими тілами та мають різну густину у північній та південній внутрішніх частинах Тарасівської структури. У північній густина цих порід постійна та дорівнює 2,90 г/см³, що є мінімальним значенням в інтервалі густини за [Гинтов и др., 2018]. У південній частині значення густини змінюються від 2,90 до 2,97 г/см³, а в великому тілі, що збігається з локальним максимумом найбільшої інтенсивності поля сили тяжіння, густина дорівнює 3,00 г/см³. Таким чином, густина апоноритів у південній частині вища, ніж у північній.

Як бачимо, за винятком окремих тіл, у середньому відмінності між значеннями густини щільних порід (кристалосланців, мігматитів, апогабброїдів, скарноїдів та апоноритів) за даними [Гинтов и др., 2018] та тривимірного густинного моделювання розходяться на $\pm 0,02$ г/см³. Винятком є апогабброїди-кристалосланці піроксен-амфіболові, рідше габро та габро-амфіболіти, густина яких за даними тривимірного моделювання менша (2,78; 2,80; 2,88 г/см³).

Густина гранітів сірих та рожевих аплітоїдних та пегматоїдних та передбачуваних тіл серпентинітів, навпаки, більша, ніж густина геолого-геофізичних таксонів на геологічній карті Тарасівської структури [Гинтов и др., 2018]. Густина чарнокітів та ендербітів за даними геолого-геофізичних таксонів практично збігається з даними тривимірного густинного моделювання (див. рис. 4, табл. 1).

Як зазначалося вище, центральну частину Тарасівської структури перетинає ши-

Густина геолого-геофізичних таксонів згідно з геологічною картою Тарасівської базит-метабазитової структури (див. рис. 7 з праці [Гинтов и др., 2016]) та за даними тривимірного густинного моделювання

Породи на геологічній карті	Значення густини (г/см ³) за даними [Гинтов и др., 2018]	Значення густини (г/см ³) за даними тривимірного густинного моделювання
Граніти сірі та рожеві аплітоїдні та пегматоїдні	2,62—2,65	2,66; 2,68; 2,70 2,72; 2,73; 2,76 (в окремих тілах)
Гранітоїди та мігматити амфібол-біотитові, біотит-амфіболові з включенням незначної потужності залишків піроксен-біотитових кристалосланців	2,65—2,69	2,69—2,71; 2,73
Чарнокіти та ендербіти нерозчленовані	2,70—2,74	2,69—2,71; 2,74
Кристалосланці та мігматити амфібол-піроксенові	2,75—2,80	2,80
Скарноїди кварц-магнетит-піроксенового, гранат-кварц-магнетит-гіперстенового складу, частково амфіболізовані, з можливими включеннями кальцифірів	2,88—3,00	2,77; 2,86; 2,88; 2,90
Кристалосланці гранат-піроксенові, двопіроксенові, амфібол-піроксенові	2,90	2,82; 2,87; 2,88; 2,90
Кристалосланці гранат-амфіболові, амфібол-гранатові	2,90	2,84; 2,88; 2,90
Передбачені тіла серпентинітів, «кишені» кори вивітрювання над породами базит-ультрабазитового складу	2,57	2,61; 2,69; 2,70; 2,75
Апогаброїди амфіболізовані, біотизовані з прошарками кальцифірів	2,80	2,78; 2,80
Апогаброїди-кристалосланці піроксен-амфіболові, рідше габро та габро-амфіболіти	2,91—2,99	2,78; 2,80; 2,88
Апоріти (кристалосланці гранат-ортопіроксенові, амфібол-піроксенові, іноді з прошарками габро, габро-амфіболітів, норитів)	2,90—3,03	2,80; 2,90; 2,97; 3,00

ротний розлом зсувного характеру. Також у межах структури спостерігається густа мережа розломів вищого порядку, що свідчить про інтенсивну переробку порід кристалічного фундаменту. У зонах розломів, які за даними [Гинтов и др., 2018] складені гранітами аплітоїдними та пегматоїдними, катаклазованими та мілонізованими породами Тарасівської структури, у першому наближенні густина становила 2,62 г/см³ до 200 м, глибше змінювалася до 2,69 г/см³ на глибині 3 км. Такий розподіл густини залишився лише в деяких зонах та в їх фрагментах на півночі, північному заході, півдні та південному заході ділянки досліджень. У східній та північно-східній частині зони розломів роздроблені та ущільнені. У деяких із них густина становить 2,77 та 2,80 г/см³ по всьому розрізу (рис. 6).

Порівняння карти розподілу густини

на поверхні кристалічного фундаменту за даними тривимірної кількісної густинної моделі (див. рис. 4) з геологічною картою Тарасівської структури, складеної на основі якісної інтерпретації геофізичних полів (див. рис. 7 у праці [Гинтов и др., 2018]), показало, що обидві карти відповідають одна одній у межах похибки визначення густини гірських порід згідно з геолого-петрофізичними даними. Найбільш істотні відмінності у густині окремих геологічних тіл були враховані в уточненому варіанті геологічної карти.

Висновки.

- Вперше за даними тривимірного густинного моделювання побудовано схему розподілу густини на поверхні фундаменту Тарасівської базит-метабазитової структури, яка має площу 2,5×5,5 км і поширюється на глибину не більше 3—4 км.

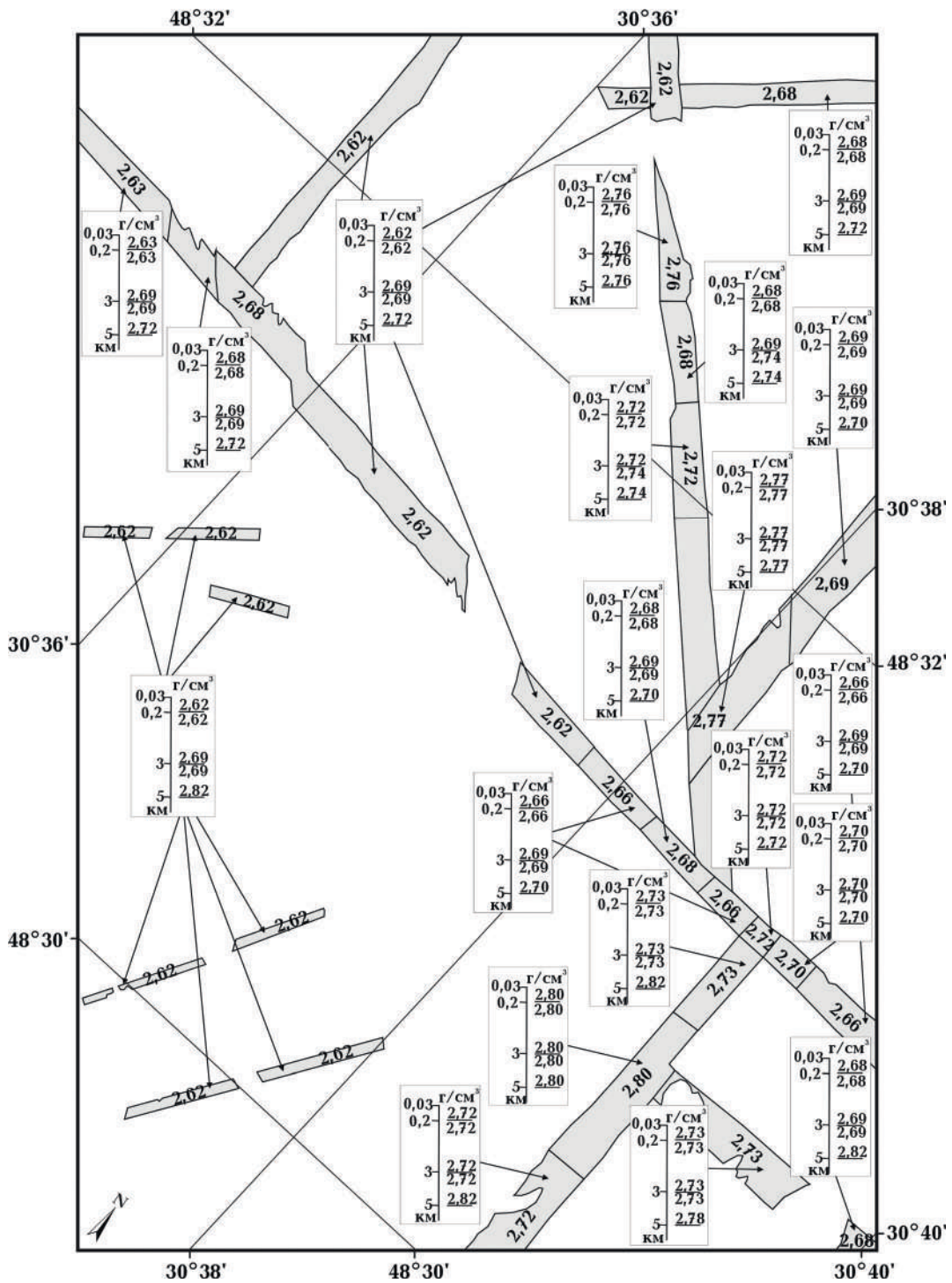


Рис. 6. Розподіл густини (г/см^3) на поверхні фундаменту та до глибини 5 км у зонах розломів Тарасівської базит-метабазитової структури.

Fig. 6. Density distribution (g/cm^3) on the basement surface and down to a depth of 5 km in the fault zones of the Tarasivka mafic-metamafic structure.

• Апогаброїди та апоноріти із середньою густиною $2,80\text{--}2,90 \text{ г/см}^3$ — малою мірою змінені породи базит-метабазитового

складу — утворюють центральну частину Тарасівської базит-метабазитової структури та поширюються до глибини 2 км без

зміни кута їх падіння, що підтверджується даними сейсмометрії та електорозвідки.

- Породи чарнокіт-ендербітового ряду, які підстилають структуру, характеризуються густиною $2,75\text{—}2,76\text{ г/см}^3$ і утворюють у межах виступ близько $1\text{—}2\text{ км}$, що добре бачимо на розрізах. Крайові частини структури поширюються глибше відносно центральних. Це свідчить проти синклінальної будови Тарасівської базит-метабазитової структури.

- За широтним розломом зсувного характеру, що проходить через центральну частину, Тарасівська базит-метабазитова структура ділиться на дві частини: північну, менш щільну, та ущільнену південну.

- Лише в деяких зонах розломів та їх фрагментах на півночі, північному заході, півдні та південному заході Тарасівської базит-метабазитової структури густина дорівнює $2,62\text{ г/см}^3$ до 200 м і глибше збільшується до $2,69\text{ г/см}^3$ на 3 км . У східній та північно-східній частині зони розломів роздроблені та ущільнені. У деяких із них густина становить $2,77$ і $2,80\text{ г/см}^3$ по всьо-

му розрізу, що можна пояснити перетином розломами в таких місцях високощільних порід.

- Підвідний канал, або канали базитової інтрузії, яка утворює Тарасівську базит-метабазитову структуру, швидше за все, мають невеликий діаметр (або діаметри), через що не можуть бути зафіксовані гравіметриєю. Інше пояснення відсутності підвідних каналів і малої глибинності Тарасівської структури може полягати в тому, що потужні зсувні процеси, які фіксуються в межах Голованівської шовної зони, призвели до утворення детачменту на глибині (сучасній) $3\text{—}4\text{ км}$. Через це верхня частина Ятранського блоку разом із Тарасівською базит-метабазитовою структурою досить сильно пересунулася на південь, зірвавши її з кореневої частини. Останнє твердження вважається найімовірнішим.

Подяка. Автори висловлюють глибоку подяку проф. О.Б. Гінтову за цінні поради та зауваження при моделюванні та обговоренні статті, конструктивні дискусії та редакторські правки, які були враховані.

Список літератури

Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глевасский Е.Б., Есипчук К.Е., Кулик С.Н., Бурахович Т.К., Пигулевский П.И., Николаев Ю.И., Николаев И.Ю., Сетая Л.Д., Захаров В.В., Курлов Н.К. Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита. Донецк: Вебер, 2008. 305 с.

Бурахович Т.К., Ільєнко В.А., Кушнір А.М., Ширков Б.І. Тривимірна глибинна геоелектрична модель Тарасівської структури Голованівської шовної зони. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 2. С. 108—122. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128934>.

Виноградов Г.Г., Палий Д.П., Ентин В.А., Маринич Б.А. Геологическая карта масштаба 1:50 000 территории листов М-36-122- Б, Г. Отчет ГСП № 37. Т. 1. Киев: Укргеолфонд, 1976. 185 с.

Геологічна будова Побузького гірськорудного району за сучасними геофізичними і геологічними даними та оцінка його перспек-

тив на корисні копалини. Звіт про науково-дослідну роботу. Керівник О.Б. Гінтов. Київ, 2020. 519 с.

Гинтов О.Б., Ентин В.А., Мычак С.В., Павлюк В.Н., Гуськов С.И. Уникальные базит-метабазитовые структуры Побужского горнорудного района, их геологическое значение и перспективы рудоносности (по геофизическим и геологическим данным). *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 3. С. 3—26. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137170>.

Гинтов О.Б., Ентин В.А., Мычак С.В., Павлюк В.Н., Зюльцле В.В. Структурно-петрофизическая и тектонофизическая основа геологической карты кристаллического фундамента центральной части Голованевской шовной зоны Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 3. С. 3—28. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i3.2016.107777>.

Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П. Тер-

- мобарическое петрофизическое моделирование в геофизике. Киев: Наук. думка, 2013. 302 с.
- Красовский С.С. Отражение динамики земной коры континентального типа в гравитационном поле. Киев: Наук. думка, 1981. 262 с.
- Кушнір А.М., Бурахович Т.К., Ільєнко В.А., Ширков Б.І., Ніколаєв І.Ю. Глибинні геоелектричні дослідження Троянківського та Тарасівського метабазитових масивів Голованівської шовної зони. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 6. С. 56—72. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190066>.
- Макаренко І.Б. Неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів за результатами 3D гравітаційного моделювання: Автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 2019. 47 с.
- Павлюк В.М., Бобров О.Б., Висоцький Б.Л., Довгань Р.М., Жовинський Е.Я., Костенко М.М., Ликов Л.І., Цимбал С.М. Звіт за темою «Геологія, петрологія, геохімія, вік та рудоносність мафіт-ультрамафітових асоціацій західної частини УЩ». Книги 1—6. Фонд ГП «Українська геологічна компанія». Киев, 2008. 683 с.
- Петрофизика: Справочник. Горные породы и полезные ископаемые. В 3 кн. Книга первая. Ред. Н.Б. Дортман. Москва: Недра, 1992. 391 с.
- Соллогуб В.Б. Литосфера Украины. Киев: Наук. думка, 1986. 183 с.
- Старостенко В.И., Легостаева О.В., Макаренко И.Б., Савченко А.С. Комплекс программ автоматизированной интерпретации данных потенциальных полей (GMT-auto). *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 1. С. 42—52. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111322>.
- Старостенко В.И., Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Савченко А.С., Легостаева О.В. Трехмерная плотностная модель земной коры центральной части Головановской шовной зоны Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 3. С. 27—53. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137172>.
- Старостенко В.И., Шарыпанов В.М., Савченко А.С., Легостаева О.В., Макаренко И.Б., Куприенко П.Я. Об автоматизированной интерактивной обработке графических изображений геологических и геофизических объектов. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 1. С. 54—61. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i1.2011.117325>.
- Шимкив Л.М., Ентин В.А. Результаты сейсморазведочных исследований МОВ—ОГТ в пределах Первомайского района Среднего Побужья. Отчет Сейсморазведочной и Правобережной геофизических партий Киевской комплексной геофизической экспедиции. Киев: Укргеолфонд, 1988. 246 с.
- Щербаков И.Б. Петрография докембрийских пород центральной части Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1975. 278 с.
- Ярощук М.А. Железорудные формации Белоцерковско-Одесской металлогенической зоны (западная часть щита). Киев: Наук. думка, 1983. 224 с.

Three-dimensional density model of the Tarasivka structure of the Golovanivsk suture zone of the Ukrainian Shield

V.I. Starostenko, I.B. Makarenko, O.S. Savchenko, P.Ya. Kuprienko, O.V. Legostaeva, 2022

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

For the first time, based on the data of three-dimensional density modeling, a diagram of the density distribution on the surface of the basement of the Tarasivka mafic-metamafic structure with an area of 2.5×5.5 km, extending to a depth of no more than 3—4 km, was constructed. The

distribution of density to a depth of 5 km has been studied in detail, and the depths of occurrence of geological bodies have been determined. New in methodological terms is the use of a bypass step-like boundary from below, the form of representation of which is determined by the expected depth of occurrence of bodies with different densities. Thus, the depth of bodies with increased density near the basement surface is 2 km, of granitoids — 3 km, of undivided charnockites and enderbites — 4 km. It is shown that apogabbroids and aponorites with an average density of 2,80—2,90 g/cm³ (slightly altered rocks of mafic-metamafic composition), which form the central part of the Tarasivka mafic-metamafic structure, extend to a depth of 2 km without changing their angle fall, which is confirmed by seismic and electrical survey data. Based on the complex of available data, the selection and substantiation of the density of the host rocks of the charnockite-enderbite series, which are characterized by a density of 2,75—2,76 g/cm³ and form a ledge of about 1—2 km within the Tarasivka structure, were made. The marginal parts of the structure extend deeper than the central ones, which testifies against its synclinal structure. Along the latitudinal strike-slip fault, which passes through the central part, the Tarasivka structure is divided into two parts: the northern, less dense, and the compacted southern one. It is shown that in the eastern and northeastern parts of the structure, the fault zones are fragmented and compacted. In some of them, the density is 2,77 and 2,80 g/cm³ throughout the section, which can be explained by the intersection of high-density rocks by faults in such a places. The absence of supply channels and the shallow depth of the Tarasivka structure can be explained in two ways: either the channels of the mafic intrusion that forms the structure, most likely, have a small diameter (or diameters), that is why they cannot be fixed by gravimetry; or powerful strike-slip processes, which are fixed within the Golovanivsk suture zone, led to the formation of a detachment at a depth (modern) of 3—4 km, as a result of which the upper part of the Yatra block, together with the Tarasivka mafic-metamafic structure, moved quite strongly to the south, tearing it from root part. The last statement is considered the most probable.

Key words: Ukrainian shield, Golovanivsk suture zone, Tarasivka mafic-metamafic structure, three-dimensional density model.

References

- Azarov, N.Ya., Antsiferov, A.V., Sheremet, E.M., Glevasskiy, E.B., Esipchuk, K.E., Kulik, S.N., Burakhovich, T.K., Pigulevskiy, P.I., Nikolaev, Yu.I., Nikolaev, I.Yu., Setaya, L.D., Zakharov, V.V., & Kurlov, N.K. (2008). *Geological and geophysical model of the Golovanivskaya suture zone of the Ukrainian shield*. Donetsk: Weber, 305 p. (in Russian).
- Burakhovich, T.K., Ilyenko, V.A., Kushnir, A.M., & Shirkov, B.I. (2018). Three-dimensional deep geoelectric model of the Tarasivka structure of the Golovanivsk suture zone. *Geophysical Journal*, 40(2), 108—122. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i2.2018.128934> (in Ukrainian).
- Vinogradov, G.G., Paliy, D.P., Entin, V.A., & Marinovich, B.A. (1976). *Geological map scale 1:50,000 of the territory sheets M-36-122-Б, Г*. Report No. 37. Vol. 1. Kyiv: Ukrgeolfond, 185 p. (in Russian).
- Geological structure of Pobuzhsky mining area according to modern geophysical and geological data and assessment of its prospects for minerals. Research report. (2020). Head O.B. Gintov. Kyiv, 519 p. (in Ukrainian).
- Gintov, O.B., Entin, V.A., Mychak, S.V., Pavlyuk, V.N., & Guskov, S.I. (2018). Unique basite-metabasite structures of the Pobuzhsky ore mining region, their geological significance and ore-bearing prospects (by geophysical and geological data). *Geophysical Journal*, 40(3), 3—26. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137170> (in Russian).
- Gintov, O.B., Entin, V.A., Mychak, S.V., Pavlyuk, V.N., & Zyuultsle, V.V. (2016). Structural-petrophysical and tectonophysical base of geological map of crystalline basement of the central part of Golovanivsk suture zone of the Ukrainian Shield. *Geophysical Journal*, 38(3), 3—28. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i3.2016.107777> (in Russian).
- Korchin, V.A., Burtnyy, P.A., & Kobolev, V.P. (2013). *Thermobaric petrophysical modeling in geophysics*. Kiev: Naukova Dumka, 302 p. (in Russian).
- Krasovskiy, S.S. (1981). *Reflection of the dynamics of the Earth's crust of the continental type in the gravitational field*. Kiev: Naukova Dumka, 262 p. (in Russian).
- Kushnir, A.M., Burakhovich, T.K., Ilyenko, V.A., Shyrkov, B.I., & Nikolayev, I.Y. (2019). Deep geoelectric studies of the Troyankiv and Tara-

- sivka metabasite massifs of the Golovaniv suture zone. *Geophysical Journal*, 41(6), 56—72. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190066> (in Ukrainian).
- Makarenko, I.B. (2019). Heterogeneity of the Earth's crust of Ukraine and adjacent regions inferred from 3D gravity modeling: *Abstract of the thesis*. Kiev, 47 p. (in Ukrainian).
- Pavlyuk, V.M., Bobrov, O.B., Vysotsky, B.L., Dvagan, R.M., Zhovinsky, E.Ya., Kostenko, M.M., Lykov, L.I., & Tsymbal, S.M. (2008). Report on the topic «Geology, petrology, geochemistry, age and ore content of mafic-ultramafic associations in the western part of USh». Books 1—6. Fund of SE «Ukrainian Geological Company». Kyiv, 683 p. (in Ukrainian).
- Dortman, N.B. (Ed.). (1992). *Petrophysics: Handbook. Rocks and minerals*. In 3 books. Book one. Moscow: Nedra, 391 p. (in Russian).
- Sollogub, V.B. (1986). *Lithosphere of Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka, 183 p. (in Russian).
- Starostenko, V.I., Legostaeva, O.V., Makarenko, I.B., & Savchenko, A.S. (2015). Software system for automated data interpretation of potential fields (GMT-Auto). *Geophysical Journal*, 37(1), 42—52. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111322> (in Russian).
- Starostenko, V.I., Kuprienko, P.Ya., Makarenko, I.B., Savchenko, A.S., & Legostaeva, O.V. (2018). Three-dimensional Earth's crust density model of the central part of the Golovanevsk suture zone of the Ukrainian Shield. *Geophysical Journal*, 40(3), 27—53. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137172> (in Russian).
- Starostenko, V.I., Sharypanov, V.M., Savchenko, A.S., Legostaeva, O.V., Makarenko, I.B., & Kuprienko, P.Ya. (2011). On the automated interactive processing of graphic images of geological and geophysical objects. *Geophysical Journal*, 33(1), 54—61. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i1.2011.117325> (in Russian).
- Shimkiv, L.M., & Entin, V.A. (1988). *Results of seismic surveys of MOV-OGT within the Pervomaisky region of the Middle Bug region. Report of the Seismic and Pravoberezhnaya Geophysical Parties of the Kyiv Integrated Geophysical Expedition*. Kyiv: Ukrgeolfond, 246 p. (in Russian).
- Shcherbakov, I.B. (1975). *Petrography of Precambrian rocks in the central part of the Ukrainian Shield*. Kiev: Naukova Dumka, 278 p. (in Russian).
- Yaroshchuk, M.A. (1983). *Iron ore formations of the Belotserkovsky-Odessa metallogenic zone (western part of the shield)*. Kiev: Naukova Dumka, 224 p. (in Russian).