

Вадим ГОРДІЄНКО<sup>1</sup>, Іван ГОРДІЄНКО<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Інститут геофізики ім. С. І. Суботіна Національної академії наук України, просп. Палладіна, 32, Київ, 03680, Україна, ел. пошта: gordienkovadim39@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9430-7801>

<sup>2</sup> Інститут геофізики ім. С. І. Суботіна Національної академії наук України, просп. Палладіна, 32, Київ, 03680, Україна, тел.+38 066 922 5767, ел. пошта: tectonos1234@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5619-0486>

## РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ В КОРИ ТА ВЕРХНІЙ МАНТІЇ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Мета – побудова тривимірної теплової моделі кори та верхньої мантії на території України. Її методична основа – схема глибинних процесів у тектоносфері, що враховує, передусім, результати тепломасоперенесення за сучасної активізації. Вони накладаються на моделі платформи (крім території Східно-Європейської платформи, до неї зараховано і Донбас), альпійської геосинклінали Карпат та герцинсько-кіммерійської геосинклінали Скіфської плити. Незавершений процес сучасної активізації неможливо точно описати геологічною теорією, яку використали автори. Для вибору варіанта адекватної схеми тепломасоперенесення попередньо виконано гравітаційне моделювання за системою профілів навколо північної півкулі загальною довжиною понад 30000 км, що перетинають Євразію, Північну Америку, Атлантичний та Тихий океани. Виділено схему процесу, найвідповіднішу реальності. Застосувавши її для України, з більшою точністю визначили активізовану площу. Таке завдання вирішено вперше. На півдні модель обмежена западиною Чорного моря, за глибиною – 400 км. Температури у перехідній зоні до нижньої мантії не розглядалися. Тестові теплові моделі зіставлені з геотермометрами, визначено похибку (50 °C) розрахунку та перерізу ізотерм (150 °C для глибин від 50 до 400 км, на глибині 25 км похибка нижче, переріз ізотерм – 100 °C). Встановлено зони часткового плавлення порід кори та верхньої мантії. Вони поширені у середній частині кори, у верхніх горизонтах мантії (50–100 км). На глибині близько 400 км часткове плавлення трапляється лише під неактивізованою частиною платформи. Описано відмінності моделі від представленої, пов'язані з можливими варіаціями віку процесу, його особливостями на різних поверхах тепломасоперенесення. Практична значущість. Простежено розміщення родовищ корисних копалин щодо теплових аномалій та інших параметрів середовища.

*Ключові слова:* сучасна активізація; глибинний процес; тектоносфера; теплова модель.

### *Вступ*

Статтю написано за результатами першого етапу досліджень, метою яких є побудова єдиної моделі глибинних процесів у тектоносфері України та відповідного розподілу фізичних властивостей порід кори та верхньої мантії. Ці проблеми у комплексі розглядалися протягом багатьох років за участю авторів та висвітлені у семи монографіях, що охоплюють всю територію країни, та п'яти – десяти монографіях щодо глибинних процесів та аналізу даних окремих геофізичних методів (зокрема – геотермії [Гордієнко и др., 2002; та ін.]. Бібліографія представлена, зокрема, у [Gordienko, 2017 та ін.]. Разом з вивченням інших регіонів континентів та океанів вдалося сформулювати загальну геологічну теорію [Gordienko, 2022c] та вирішити безліч завдань, зокрема стосовно походження родовищ низки корисних копалин та розроблення методик їх пошуків.

### *Мета*

Йдеться про побудову теплової моделі тектоносфери. Її розраховано на основі схеми тепломасоперенесення у глибинних процесах. Потім за її допомогою створюють моделі розподілу швид-

кості пружних хвиль, щільності, електропровідності, в'язкості, енергоємності порід. Здійснюється незалежний контроль частини названих параметрів, тобто розрахункові величини без підбору порівнюють з експериментально встановленими і вважають достовірними за умови розбіжностей, спричинених похибками. Таку послідовність аналізу реалізовано майже для всіх ендегенних режимів на континентах і океанах. Винятки – деякі океанічні райони, де ще немає достатньої кількості фактичного матеріалу та зони сучасної активізації на континентах та в океанах, де процес ще не виявився повною мірою у доступних спостереженню явищах та аномаліях полів.

Отже, для України початок роботи повинен передбачати визначення місця сучасної активізації (СА) та змісту глибинного процесу, його поєднання з іншими, побудову теплових моделей, зіставлення зі спостереженими температурами (Т), власне розрахунок моделі, виділення у її межах шарів часткового плавлення речовини.

### **Процес сучасної активізації**

Ендегенний режим сучасної активізації відомий близько 80 років. Але його існування все ще

дискусійне. Тому необхідно зупинитися на розумінні змісту терміна у [Gordienko, 2017 та ін.]. Воно основане на роботах радянських геологів 40–60-х років ХХ ст., які побачили в цьому явищі нову форму розвитку земної кори, після платформної, маючи на увазі якісну перебудову платформ, що виражалася в різних явищах активізації (тектонічних та магматичних), які, безперечно, відбувалися й у далекому геологічному минулому. Однак у мезозої ці явища виявилися сильнішими, ніж у палеозої, а на новій стадії розвитку Землі активізація платформ особливо інтенсивна та різноманітна. Тому під час тектонічного аналізу такі ділянки потрібно виділяти як особливі зони в межах тих головних структурних елементів земної кори (геосинклінальні області та платформи), на основі яких вони виникли

Зазначимо основні риси глибинного процесу сучасної активізації, важливі для вирішення поставленого завдання. Схема тепломасоперенесення в тектоносфері СА містить невизначеності, пов'язані із його незавершеністю і проявом у регіонах з різними віками попередніх геосинкліналей або рифтів. З підкорової перегрітої області (виникла близько 5–25 млн років тому під час підйому речовини з проміжного вогнища під платформою або астеносфери, що існувала перед початком активізації в альпідах) частковий розплав виноситься в кору. Вік приблизно оцінено за геотермічними даними та нечисленними проявами магматизму на Молдавській та Мезійській плитах, у Закарпатському прогині, Паннонії, Чеському масиві. Приблизно в тому самому часовому діапазоні відбувалися швидкі підняття поверхні на Дністровсько-Пруцькому міжріччі (близько 4 млн років тому), Складчастих Карпатах (10–15 млн років тому), на українській території Східно-Європейської платформи (СЄП) (у різні періоди до 25 млн років тому).

Частковий розплав надходить в інтервал глибин 30–40 км (займає близько половини обсягу) та 20–30 км (займає чверть обсягу). Середня температура тут зростає на  $500 \pm 100$  °С. Під кору опускаються еклігітизовані блоки основних корових порід, досягши астеносфери, вони знижують її температуру приблизно на 100 °С. Нагрівання кори “розморозує” реакцію еклігітизації, швидкому перебігу якої сприяють флюїди, принесені мантійними виплавками і утворені під час часткового плавлення порід амфіболітової фації метаморфізму в корі.

Модель тепломасоперенесення в обох випадках не передбачає зниження температури в області поліморфних перетворень біля подошви верхньої мантії, достатнього для переходу помітної частини речовини, що опустилася, до щільнішої фази олівіну. Відповідно відсутні значні опускання поверхні. Цей факт дає змогу обмежувати глибину нижнього джерела матеріалу, що переміщується, – 300–400 км.

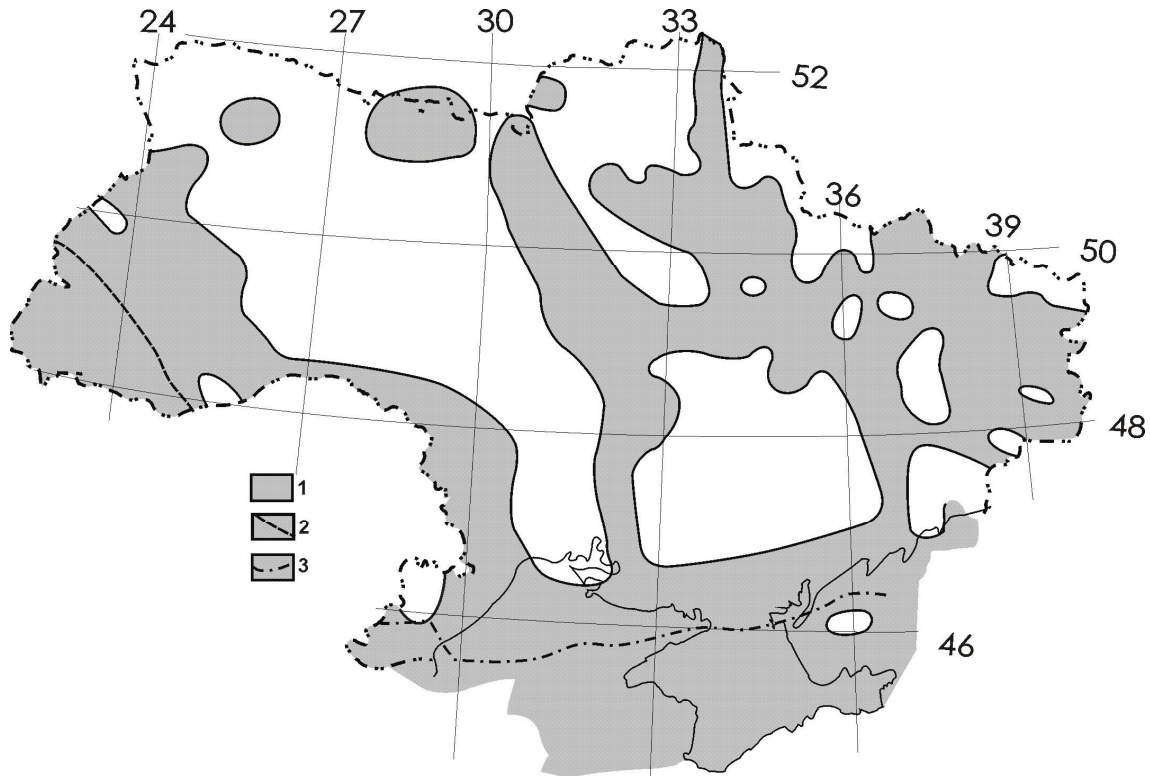
### Методика розрахунку

Теплові моделі в інтервалах глибин максимального перегрівання у мантії під корою доволі близькі під платформами й альпідами і не суперечать геотермометрам. Очевидно, що таким моделям мають відповідати дві зони часткового плавлення. Доволі потужна зона – у підкоровій частині мантії (в інтервалі глибин від 40–60 до 90–100 км), малопотужна – у нижній корі на глибинах трохи більше ніж 20 км. Останньої може і не бути, якщо винесення магми в кору сталося помітно раніше від прийнятого під час розрахунку віку процесу. Ця зона може бути джерелом матеріалу для внутрішньокорової адвекції, що призводить до утворення окремих вторгнень кислоти та середньої магм на глибини до 5–10 км.

Розглянувши форми мантіїної гравітаційної аномалії, у найвивченіших районах України виявили низку фрагментів, що помітно відрізняються від сусідніх, завширшки близько 50 км, що близько до розмірів кванта тектонічної дії (КТД) [Gordienko, 2017; Гордієнко 2022]. Можна припускати, що у просторі, який займає процес, активізація охоплює порівняно вузькі смуги, розташовані близько одна від одної. Така конструкція підтверджується і сейсмологічними даними.

Перенесення речовини у мантії під платформою під час СА може відбуватися за різними схемами. Крім безпосереднього винесення з нижнього резервуара у верхній, можуть формуватися проміжні осередки частково розплавлених порід. Зміниться і гравітаційний ефект. У роботі [Gordienko, 2022a] визначено величину аномалії в різних районах континентів та океанів уздовж майже безперервного траверсу навколо північної півкулі загальною довжиною понад 30 000 км. Використані численні дані про швидкісні розрізи вздовж профілів ГСЗ [Chulick et al., 2002; International..., 2014; Mooney et al., 2002; Pavlenkova et al., 2006; та ін.]. Вони проходять територіями зон СА упродовж багатьох тисяч кілометрів. І у всіх випадках аномалії, розраховані за найпростішою схемою переміщення речовини (інтенсивністю близько 30–40 мГл), збігаються у межах похибки. Цілком імовірно, що саме такий процес відбувається і на всій СЄП.

У межах України для розрахунку гравітаційної мантіїної аномалії використано всі відомі авторам профілі ГСЗ [Баранова и др., 2008, 2011; Grad et al., 2006; Козленко и др., 2009; Starostenko et al., 2015; Трипольский и др. 2004; та ін.]. Для заповнення прогалін результати опрацьовано кригінгом [Davis, 1986; Демьянов и Савельева, 2010; Olea, 2018]. Оцінка похибки показала, що для матеріалу досить простого кригінгу. Результати наведено на рис. 1. За реальних розмірів об'єктів зона СА обмежується значенням мантіїної аномалії 20 мГл.



**Рис. 1.** Кордони СА на території України (1) та кордони між регіонами: СЄП та Карпатами (2), СЄП та Скіфською плитою (3).

#### **Практична значущість**

У межах виділеної на рис. 1 площі розміщені всі відомі прояви СА: молоді підняття поверхні [Верховцев, 2006], родовища вуглеводнів (ураховуючи вугільний метан), пункти з аномально високим вмістом мантіяного гелію та водню [Багрий, 2020 и др.] у підземних газах, вся сейсмічність, гідротермальні рудопрояви Карпат тощо (рис. 2).

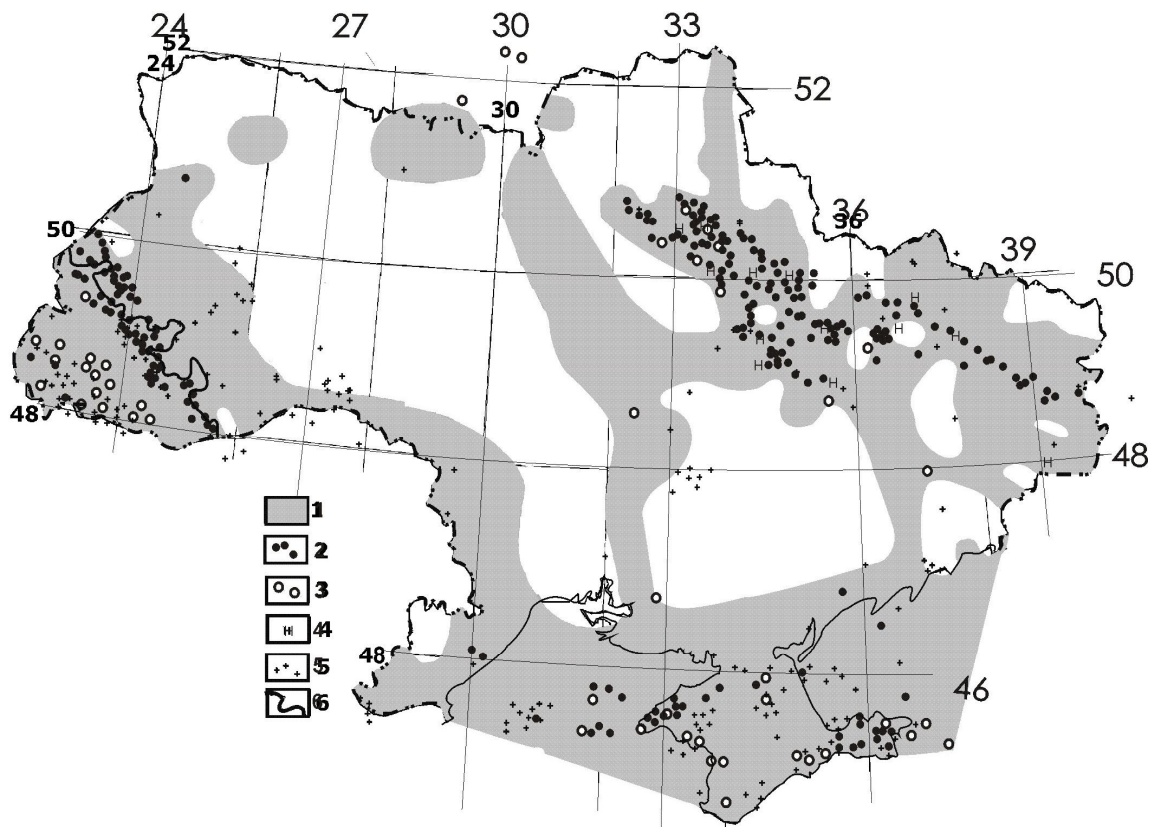
Деякі деталі зв'язку моделі з родовищами корисних копалин наведено у висновку.

#### **Різновиди моделей. Похибки**

Наведені вище чотири різновиди ендегенних режимів подано на рис. 3. Вони розраховані для процесу СА середнього віку – близько 15 млн років. Оцінки впливу варіацій цього параметра на розрахункові температури показують, що в діапазоні 5–25 млн років на глибинах значних аномалій мінливість становить  $70 \pm 50$  °С.

З півдня модель обмежена областю Чорноморської западини, що формується, ендегенний режим якої належить до типу океанізації. Вплив глибинних процесів у його тектоносфері на глибинні температури скіфської плити, як показали спеціальні розрахунки, незначний. Кордон, що проявляється, зокрема, в амплітуді та швидкості опускання поверхні дна шельфу, дуже різкий. У роботі [Yanchilina et al., 2017] наведено ще безліч ознак, які підтверджують таку думку.

Поширена думка, що покрівля зони переходу до нижньої мантії міститься на глибині 410 км та перехідний шар тонкий. Однак, за даними робіт, де для дослідження об'єкта розгорнуто спеціальну систему спостереження [Tauzin et al., 2013 and others], результати вивчення розділу визначаються щільністю мережі та наявністю широкого спектра коливань. На порівняно невеликій відстані глибина покрівлі змінюється на 20 км, стрибок швидкості – від 0,4 до 0,6 км/с, є ознаки розщеплення кордону. Така конструкція (а поліморфне перетворення пов'язане з появою джерел тепла) може помітно позначитися на розподілі температури (створити аномалію в 100–150 °С) [Gordienko, 2017], який поки що не вдається коректно врахувати. Крім того, в останні роки стверджують, що перехідна зона сильно гідратована, являючи собою “цвинтар” слевів, які переносять воду [Peslier et al., 2017], хоча ті самі автори пишуть про повну дегідратацію плити під час занурення приблизно до 100 км. У разі реальності процесу тепловий ефект утворення гідратованих мінералів у перехідній зоні додасться до ефектів утворення вадслеїту та мейджориту. Реальний контроль можливий щодо стрибка швидкості поздовжніх сейсмічних хвиль на покрівлі зони. Він дає негативний результат. “Ці швидкості не дають жодних доказів того, що вадслеїт або рингвудит були глобально гідратовані внаслідок субдукції або вихідних земних умов” [Houser, 2016, p. 94].



**Рис. 2.** Зіставлення значущої мантійної гравітаційної аномалії з умовами виділення зон сучасної активізації:

- 1 – площа мантійної гравітаційної аномалії; 2 – родовища вуглеводнів (ВВ); 3 – пункти з аномальною ізотопією гелію; 4 – пункти виділення водню з концентрацією 1–60 %; 5 – епіцентри землетрусів; 6 – східний кордон поширення проявів молодшої рудної мінералізації в Карпатському регіоні.

Звичайно, температури змінюються не тільки за різних віків активізації, а й залежно від розташування пункту розрахунку всередині регіону. У Карпатах та на Скіфській плиті на їх значеннях позначаються попередні активні події геологічної історії. На платформі трапляються помітні відхилення радіогенної теплогенерації (ТГ) у породах тектоносфери від середніх, використаних під час розрахунку, що виявляються у стаціонарних аномаліях теплового потоку.

Для порівняння із розрахунковими значеннями  $T$  відібрано дані щодо України та деяких добре вивчених регіонів Європи [Gordienko, 2017 and others], подані на рис. 4.

Середні відмінності температур становлять близько 70 °С. За наявними даними похибка експериментальних значень  $T$  – приблизно 500 °С [Щербаков, 2005, Светов и Смолькин, 2003]. Отже, значення розрахункової помилки таке саме. З цього випливає переріз ізоліній у створюваній моделі 150 °С. У середній частині кори узгодження розрахункових та експериментальних  $T$  дещо краще, на глибині 25 км можна провести достовірні ізотерми з кроком 100 °С.

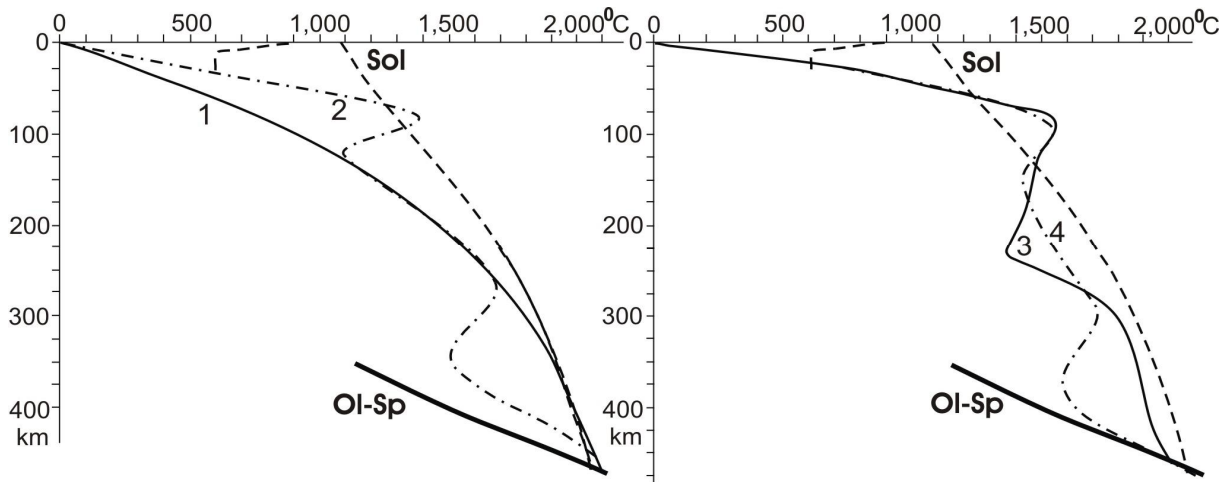
**Результати розрахунків, отримані вперше**

Побудовану модель подано як суму карт-зрізів на глибинах 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300 та 400 км (рис. 5 та 6). Однак видається передчасним поширення її на зони переходу від верхньої мантії до нижньої.

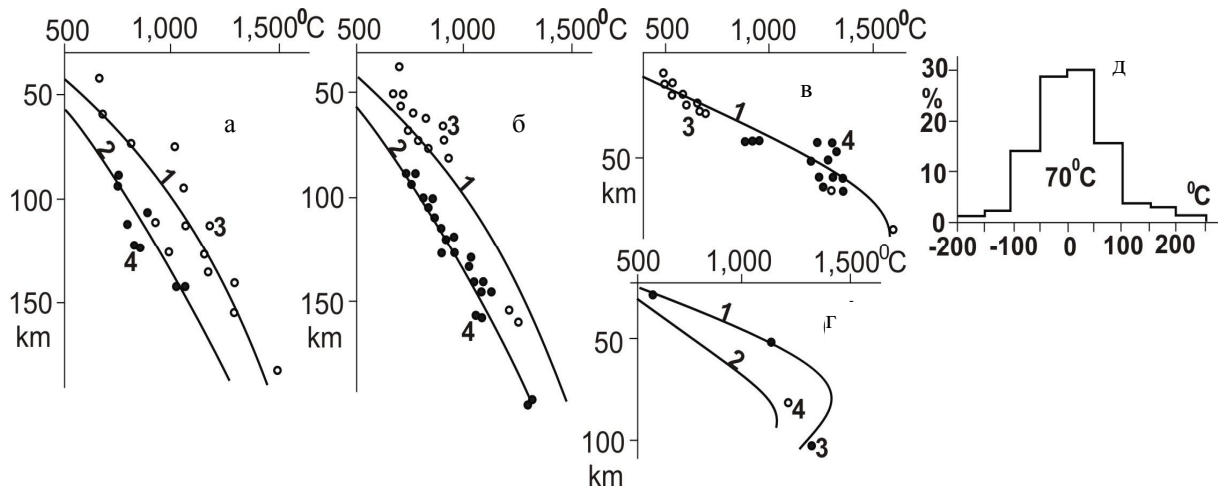
Як відправну точку у всіх зрізах використано температуру під платформою за нормальної теплогенерації порід кори та верхньої мантії (таблиця та рис. 3).

**Платформні температури та температури солідуса порід на глибинах кори та верхньої мантії**

Н, км	$T, ^\circ\text{C}$	$So, ^\circ\text{C}$
25	310	600,1140
50	520	1200
100	940	1370
150	1220	1510
200	1460	1650
250	1660	1760
300	1820	1850
350	1920	1930
400	2000	1980



**Рис. 3.** Теплові моделі тектоносфери платформи (1) та зон СА платформи (2), Карпатської геосинклінали (3) та Скіфської плити (4).  
Sol – температура солідуса мантіїних порід та корових порід амфіболітової фації метаморфізму;  
Ol – Sp – покрівля зони поліморфного перетворення олівіну на шпинель.



**Рис. 4.** Розподіл розрахункових (1, 2) та експериментальних (3, 4) температур у тектоносфері деяких регіонів:  
а – Український щит (1, 3 – нормальна ТГ, 2, 4 – знижена ТГ); б – Балтійський щит (1, 3 – нормальна ТГ, 2, 4 – знижена ТГ); в – Карпати (1, 3) та Апенніни (1, 4); г – зони СА Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ: Молдавська та Мезійська плити (1, 3 – вік СА 2–5 млн років) та Чеський масив (2, 4 – вік СА 25 млн років); д – гістограма розподілу відмінностей розрахункових та експериментальних Т.

Складність розподілу температур, природно, неоднакова на різних глибинах: максимальна в зонах позитивних та негативних аномалій, створених тепломасоперенесенням унаслідок сучасної активізації, та мінімальна в середній частині верхньої мантії навіть у Карпатах та на Скіфській плиті, де проявляються наслідки альпійських та герцинсько-кіммерійських процесів.

Значні відмінності реальних  $T$  від показаних на рис. 5 можуть бути пов'язані з віком СА.

Наведені вище відповідні варіації у разі молодих джерел тепла призводять до появи додатко-

вих об'єктів часткового плавлення у центральних частинах зон СА платформи на глибинах 25,50–100 км. Вік проявів вуглеводнів та рудної мінералізації у Карпатському регіоні вказує на більшу ймовірність такого розвитку подій. Солідус порід не перевищується, швидше за все, у нижній частині земної кори із переважним гранулітовим метаморфізмом.

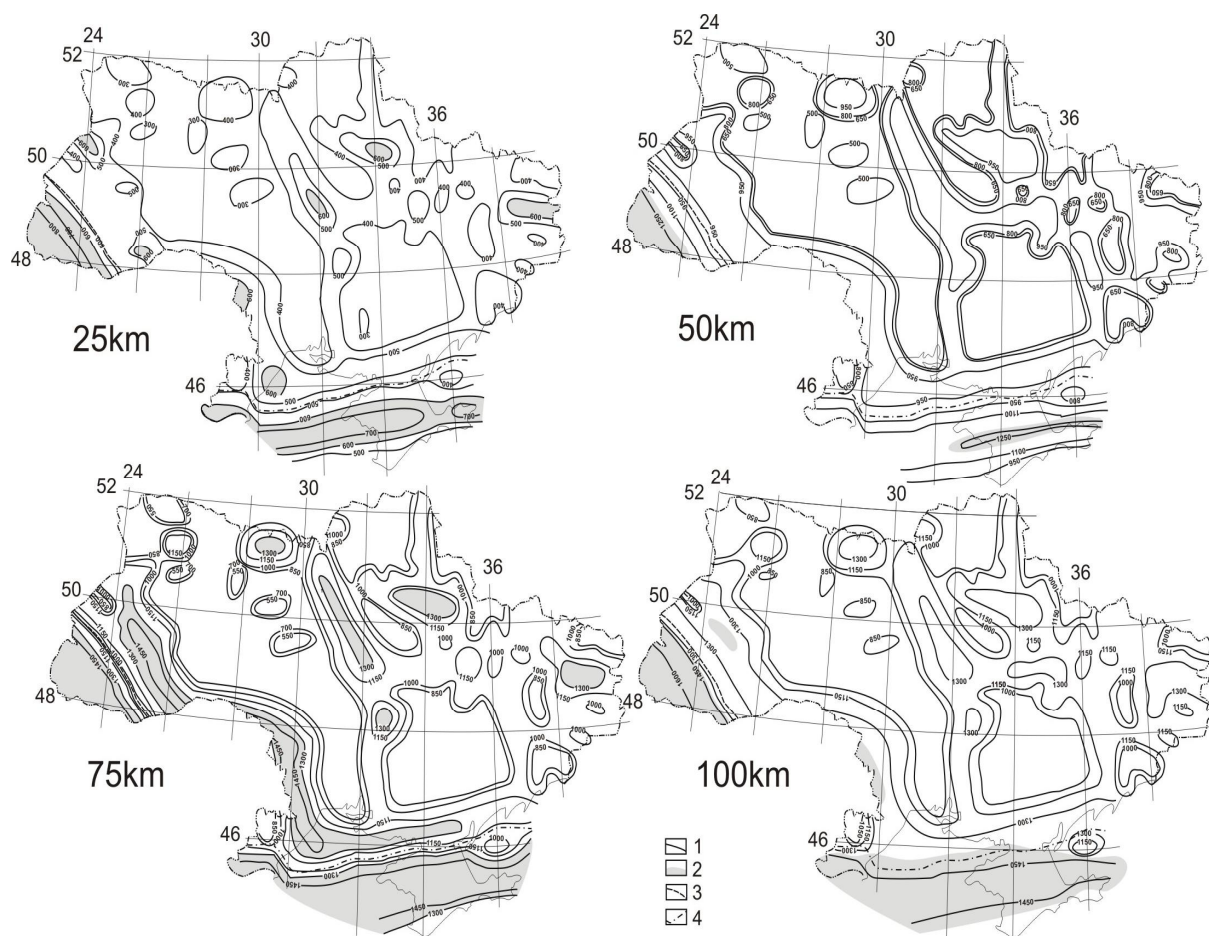
Але із цих зауважень не випливає, що позитивні теплові аномалії у верхніх горизонтах мантії обов'язково близькі за віком до корових. Адже саме спричинені температурою зміни щільності

порід для віку активізації близько 15 млн років дають можливість (разом із ефектом кори) узгодити розрахункове та спостережене гравітаційні поля. Вказані ж часові інтервали виникнення рудних і вуглеводневих супутників СА характеризують вторинну внутрішньокорову адвекцію (див. вище), що відбувається не безпосередньо в ході коро-мантіїного обміну, а на пізнішому етапі, після серпентинізації нижньокорових гіпербазитів, флюїдизації розташованого вище шару.

У середній частині верхньої мантії (на глибинах 150–300 км) помітні відмінності  $T$  від платформних пов'язані лише із попередніми процесами у Карпатській геосинкліналі. У нижній тектоносфері (300–450 км) інтенсивні негативні аномалії є у всіх регіонах, крім неактивізованої платформи. У разі тривалої відсутності конвективного винесення тепла це проявляється у перевищенні температури солідуса на таких глибинах. Власне реалізація накопиченої унаслідок цього енергії й призводить до СА. Поширення зони

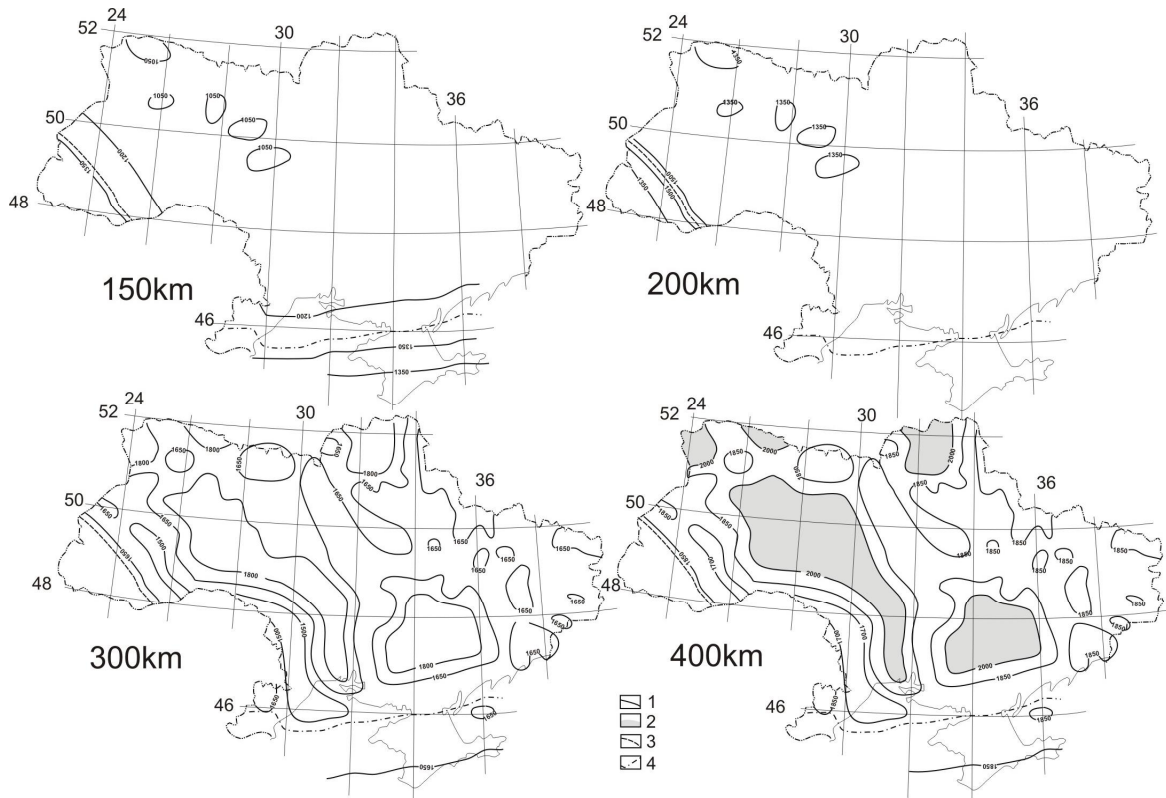
часткового плавлення на глибинах, що розглядаються, має бути значним, оскільки згадані вище локальні зниження  $T$  через окремі зниження теплогенерації до підшови верхньої мантії згладжуються [Gordienko, 2017 та ін].

Зазначимо, що частину температурних аномалій на глибині 25 км на рис. 5 показано детальніше, ніж це дає змогу зробити загальна модель. Проте рис. 5 не відображає всієї складності теплового поля середньої частини кори, тим більше – верхньої частини. Багато аномалій теплового потоку (ТП) пов'язані із елементами виділення або поширення тепла, набагато менше квантів тектонічної дії [Gordienko, 2017, 2022с та ін.], рух яких становить зміст мантіїних глибинних процесів. Вони пов'язані з осередками внутрішньокорової адвекції, в якій висхідна гілка може бути представлена рухом флюїдів локальним розломом. В останньому випадку конвективне теплоперенесення обганяє кондуктивний тепловий фронт над “більшим за рангом” джерелом тепла.



**Рис. 5.** Розподіл  $T$  на глибинах 25–100 км:

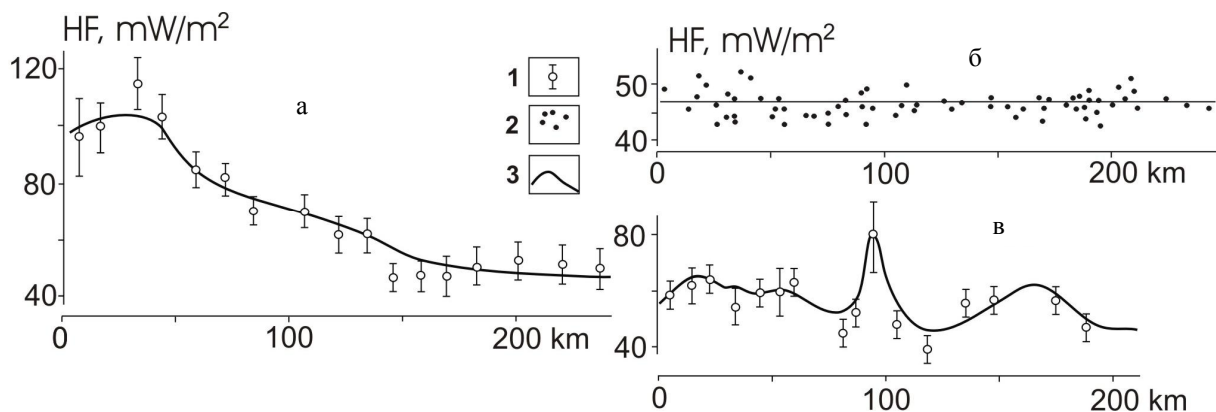
1 – ізотерми; 2 – межі зони часткового плавлення. Інші умовні позначення див. на рис. 1.



**Рис. 6.** Розподіл T на глибинах 150–400 км.  
Умовні позначення див. на рис. 1 та 5.

Подібну ситуацію ілюструє рис. 7. У Карпатах розподіл теплового потоку відображає теплову структуру, яка тривало розвивалася і вплив якої поширився до самої поверхні. Розрахункове поле, що відображає основні елементи глибинної моделі, узгоджується зі спостереженням. У зоні СА схилу Українського щита, Дніпровсько-Донецької западини та схилу Воронежського масиву коровий тепловий об’єкт сформувався порівняно недавно, його кондуктивний вплив не досяг поверхні.

Тепловий потік повсюдно відповідає платформному ендегенному режиму, трапляються лише окремі “викиди” ТП, що відрізняються від такого фону на значення, більше від потрібної похибки спостережень. Насправді аномалії інтенсивністю до  $20 \text{ мВт/м}^2$  у регіоні трапляються, вони не позначилися на карті теплового потоку через незначну площу (ширина – перші кілометри). На Донбасі таких збурень стає більше і розподіл ТП у тій самій зоні сучасної активізації виглядає інакше.



**Рис. 7.** Спостережені та розрахункові значення теплового потоку в деяких регіонах України [Гордиенко и др., 2002]:

а – Карпати; б – схил Українського щита, Дніпровсько-Донецька западина, схил Воронежського масиву; в – Донбас. 1, 2 – спостережений ТП (2 – поодинокі визначення; 1 – середні значення); 3 – розрахунковий ТП.

### Висновки

Виконана робота дала змогу побудувати розподіл температури у тектоносфері на території України, який враховує основні фактори виділення та перенесення тепла протягом геологічної історії. Зіставлення результатів розрахунку із незалежно встановленими значеннями  $T$  у корі та верхній мантії виявляє узгодження значень параметра, що відповідає реальним похибкам обох методів. У цьому сенсі поставленої мети досягнуто. Однак очевидні можливі варіації температур, не відображені моделлю, які не виходять за обумовлені межі, але можуть вважатися важливими. Йдеться, передусім, про два блоки інформації: зони часткового плавлення та формування родовищ корисних копалин.

У першому випадку найбільша невизначеність пов'язана із віком перегрітих об'єктів у верхніх горизонтах мантії на глибинах до 100 км, розташованих під ССП та Донбасом. На досягнутому рівні вивченості перспективним є розподіл електропровідності у зазначеному інтервалі глибин, уточнення значення мантійної гравітаційної аномалії та молодих піднять поверхні. Рационально випробувати цей комплекс поза районами помітного впливу процесів формування Чорноморської западини, унаслідок яких можуть бути схильні до переміщення поверхні Південно-Української монокліналі. У разі вдалого застосування описаного підходу можна розглянути кореляцію віку мантійних об'єктів із коровими, для яких вік встановлюють за іншими ознаками.

В одному з регіонів (на Волино-Подільській плиті) вже є доволі повні вказівки на початок активізації близько 3–5 млн років тому після періоду спокою [Палієнко, Спиця, 2013; Покатилов, Бокатчук, 1976]. У разі перенесення цього уявлення на всю зону СА на платформі модель на зрізах 75 км буде доповнена в центральних частинах зон ізотермою 1450 °C та областю часткового плавлення.

У другому випадку зв'язок мантійних теплових аномалій із приповерхневими проявами активності (зокрема – родовищами з корисними копалинами) видається ще опосередкованішим.

Величезні запаси придатної для рентабельного використання геотермальної енергії України, що у 100 разів перевершують сумарні запаси всіх горючих копалин на її території, прямо визначаються розподілом ТП та теплопровідності порід на глибинах до 6 км. Вище зазначено, що за подібного нагрівання підкорової астеносфери (рис. 7) в зоні сучасної активізації тепловий потік через поверхню істотно різний. Непоодинокі райони, де

немає рентабельних запасів геотермальної енергії. І з'являються лише за способу транспортування тепла на приповерхневих глибинах, що доволі “добре працює”.

Такі самі умови необхідні й для формування родовищ вуглеводнів, але їх поява спричинена також чинниками, не пов'язаними з тепломасоперенесенням [Gordienko, 2017 та ін.]. Флюїди, що піднімаються над шаром часткового плавлення і серпентинізації ультрабазитів у нижній частині кори, несуть до поверхні водень. За уявленнями авторів, саме тут його основне джерело, з мантії надходить незначна частина водню та вуглеводнів. Значні родовища ВВ виникають, лише якщо на шляху водню у відповідних РТ-умовах трапляється у достатній кількості вуглець. Інакше водень йде в атмосферу, його висока проникність не сприяє нагромадженню цього газу до розмірів родовищ. Порівняно висока концентрація можлива у районах розвантаження наближених до поверхні розломів.

Для виникнення рудних гідротермальних родовищ матеріалу (ураховуючи метали та силікатне заповнення жил) у породах верхньої частини кори, як правило, виявляється достатньо. Необхідний, проте, відповідний хімізм флюїду. Йдеться насамперед про вміст хлору. Його концентрації істотно різні за СА платформи та постгеосинклінальної активізації. У другому варіанті седиментація під час основного процесу включає утворення соляних покладів у альпійській геосинкліналі Карпат та герцинській парагеосинкліналі Донбасу. Подальші активізації супроводжуються родовищами золотовмісних сульфідних руд. Під час сучасної активізації Донбасу поклади солі та рудні родовища не виникають. Звісно ж, походження аномального хлору мантійне.

Отже, загалом успішне вирішення завдання побудови теплової моделі тектоносфери України має не лише неминучі кількісні обмеження, а й під час використання отриманих результатів потребує врахування багатьох нетеплових аспектів процесу її формування. Безперечно необхідність продовження досліджень у намічених напрямках.

### Список літератури

- Багрий І. Д. Інтерв'ю сайту “Главком”. 25.08.2020. [https://glavcom.ua/new\\_energy/publications/dvichi-pisav-zelenskomu-yak-ukrajinski-vcheni-shukayut-klyuch-do-energetiki-maybutnogo-voden-701046.html](https://glavcom.ua/new_energy/publications/dvichi-pisav-zelenskomu-yak-ukrajinski-vcheni-shukayut-klyuch-do-energetiki-maybutnogo-voden-701046.html)
- Баранова Е. П., Егорова Т. П., Омельченко В. Д. (2008). Переінтерпретація сейсмических данных ГСЗ и гравитационного моделирования по профилям 25, 28 и 29 в Черном и Азовском



- морях. *Геоф. журнал*. Киев. № 5. С. 124–144. JCI 0.20.
- Баранова Е. П., Егорова Т. П., Омельченко В. Д. (2011). Обнаружение волновода в фундаменте северо-западного шельфа Черного моря по результатам переинтерпретации данных ГСЗ по профилям 26 и 25. *Геоф. журнал*. Киев. № 6. С. 15–28. JCI 0.20. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i6.2011.116790>
- Верховцев В. (2006). Новітні вертикальні рухи земної кори території України, їх взаємозв'язок з лінійними та кільцевими структурами. *Енергетика Землі, її геолого-екологічний прояв, науково-практичне використання*: зб. наук. пр. / ред.: М. І. Толстой. Київ: КНУ. С. 129–137.
- Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Усенко О. В. (2002). Тепловое поле территории Украины: монография. Киев: Знание, 170 с. [https://www.researchgate.net/profile/Vadim-Gordienko/publication/330933823\\_TEPLOVOE\\_POLE\\_TERRITORII\\_UKRAINY/links/5c5c2f9192851c48a9c164b7/TEPLOVOE-POLE-TERRITORII-UKRAINY.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vadim-Gordienko/publication/330933823_TEPLOVOE_POLE_TERRITORII_UKRAINY/links/5c5c2f9192851c48a9c164b7/TEPLOVOE-POLE-TERRITORII-UKRAINY.pdf)
- Гордиенко В. В. (2022). Мантійна гравітаційна аномалія та активізація території України. *Геологія та корисні копалини Світового океану*. № 1. С. 3–21. <https://doi.org/10.15407/gpimo2022.01.003>
- Демьянов В. В., Савельева Е. А. (2010). Геостатистика: теория и практика: монография. Москва: Наука. 327 с.
- Козленко М. В., Козленко Ю. В., Лисинчук Д. В. (2009). Глубинное строение земной коры в западной части Черного моря по результатам комплексной переинтерпретации геофизических данных по профилю ГСЗ №. 25. *Геофиз. журнал*, Киев, Т. 31, № 6. С. 77–91. JCI 0.20. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/12486>
- Палієнко В. П., Спиця Р. О. (2013). Неотектонічна геодинаміка як чинник просторово-часових змін геоморфогенезу. *Український географічний журнал*. № 4. С. 21–26. [https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ\\_2013\\_4\\_21-25.pdf](https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ_2013_4_21-25.pdf)
- Покатилов В. П., Бокатчук П. Д. (1976). О природе левосторонней асимметрии долин рек Молдавского Припрутья. *Тектоника и стратиграфия*. 11. С. 41–44.
- Светов С. А., Смолькин В. Ф. (2003). Модельные РТ-условия генерации высокомагнезиальных докембрийских магм Фенноскандинавского щита. *Геохимия*. № 8. С. 879–892. Импакт фактор 0,869.
- Трипольский А. А., Шаров Н. В. (2004). Литосфера докембрийских щитов северного полушария Земли по сейсмическим данным. Петрозаводск: КНЦ РАН. 159 с.
- Щербаків І. Б. (2005). Петрологія Українського щита. Львов: Західно-Український консалтинговий центр. 366 с.
- Chulick, G. S., & Mooney, W. D. (2002). Seismic structure of the crust and uppermost mantle of North America and adjacent oceanic basins: A synthesis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(6), 2478–2492. SJR 1.347. <https://doi.org/10.1785/0120010188>
- Davis, J. C., & Sampson, R. J. (1986). *Statistics and data analysis in geology*, Vol. 646. New York: Wiley. <https://www.kgs.ku.edu/Mathgeo/Books/Stat/ClarityEq4-81.pdf>
- Gordienko, V. V. (2022c). About geological theory. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 44(2), 68–92. JCI 0.20. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i2.256266>
- Gordienko, V. V. (2022a). Density Models of the Tectonosphere of Continents and Oceans. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 58(7), 783–800. SJR: 0.339. <https://doi.org/10.1134/S0001433822070040>
- Gordienko, V. V. (2017). Thermal processes, geodynamics, deposits. 283 p. <https://ivangord2000.wixsite.com/tectonos>
- Grad, M., Guterch, A., Keller, G. R., Janik, T., Hegedüs, E., Vozár, J., ... & Yliniemi, J. (2006). Lithospheric structure beneath trans-Carpathian transect from Precambrian platform to Pannonian basin: CELEBRATION 2000 seismic profile CEL05. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B3). <https://doi.org/10.1029/2005JB003647>
- Houser, C. (2016). Global seismic data reveal little water in the mantle transition zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 448, 94–101. SJR: 2.348. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.04.018>
- International Seismological Centre, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk>, Internal. Seismol. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014.
- Mooney, W. D., Prodehl, C., & Pavlenkova, N. I. (2002). Seismic velocity structure of the continental lithosphere from controlled source data. *International Geophysics Series*, 81(A), 887–910.
- Olea, R. A. (2018). *A practical primer on geostatistics*. US Geological Survey.. Open-File Report, 2009–1103. Version 1.4, 348 p. <https://pubs.usgs.gov/of/2009/1103/ofr20091103.pdf>
- Pavlenkova, G. A., & Pavlenkova, N. I. (2006). Upper mantle structure of the Northern Eurasia from peaceful nuclear explosion data. *Tectonophysics*, 416(1–4), 33–52. SJR: 1.545. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.11.010>
- Peslier, A., Schonbacher, M., Busenmann, H., & Karato, S. (2017). Water in the Earth's interior:

- distribution and origin. *Space Science Reviews*, vol. 212. 1–2. 743–810. <https://doi.org/10.1007/s11214-017-0387-z> SJR: 2.474
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Farfuliak, L., Czuba, W., Środa, P., ... & Tolkunov, A. (2015). Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the north western Black Sea and the Crimean Peninsula. *Geophysical Journal International*, 201(1), 406–428. SJR: 1.389. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv018>
- Tauzin, B., van Der Hilst, R. D., Wittlinger, G., & Ricard, Y. (2013). Multiple transition zone seismic discontinuities and low velocity layers below western United States. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(5), 2307–2322. SJR: 1.983. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50182>
- Yanchilina, A. G., Ryan, W. B., McManus, J. F., Dimitrov, P., Dimitrov, D., Slavova, K., & Filipova-Marinova, M. (2017). Compilation of geophysical, geochronological, and geochemical evidence indicates a rapid Mediterranean-derived submergence of the Black Sea's shelf and subsequent substantial salinification in the early Holocene. *Marine Geology*, 383, 14–34. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.11.001>

Vadim GORDIENKO<sup>1</sup>, Ivan GORDIENKO<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 32, Palladine Avenue, Kyiv, 03680, Ukraine, e-mail: [gordienkovadim39@gmail.com](mailto:gordienkovadim39@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9430-7801>

<sup>2</sup> S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 32, Palladine Avenue, Kyiv, 03680, Ukraine, tel.+38 066 922 5767, e-mail: [tectonos1234@gmail.com](mailto:tectonos1234@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5619-0486>

#### TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE CRUST AND UPPER MANTLE OF THE TERRITORY OF UKRAINE

The study aims to build a three-dimensional thermal model of the crust and upper mantle of the territory of Ukraine. Its basis is a scheme of deep processes in the tectonosphere, which, first of all, considers the results of heat and mass transfer during modern activation. They are superimposed on the models of the platform (except for the territory of the East European platform; the Donbass is also included in it), the Alpine geosyncline of the Carpathians, and the Hercynian-Cimmerian geosyncline of the Scythian plate. The incomplete process of modern activation cannot be accurately described by the geological theory used by the authors. Gravity modeling was previously conducted on a system of profiles around the northern hemisphere with a total length of more than 30,000 km, crossing Eurasia, North America, as well as the Atlantic and Pacific oceans to select an adequate scheme of heat and mass transfer. The paper distinguishes the most realistic scheme of the process. It is applied for Ukraine, and the more accurately the activated area is determined. Such a task was solved for the first time. In the south, the model is limited by the Black Sea depression, at a depth of 400 km. Temperatures in the transition zone to the lower mantle were not considered. Test thermal models are compared with geothermometers. The error (50 °C) of calculation and cross-section of isotherms is determined (150 °C for depths from 50 to 400 km, at a depth of 25 km the error is lower, the cross-section of isotherms is 100 °C). Zones of partial melting of the rocks of the crust and upper mantle have been established. They are distributed in the middle part of the crust, in the upper horizons of the mantle (50–100 km). At a depth of about 400 km, partial melting occurs only under the non-activated part of the platform. Differences in the model from the presented one are described. They are associated with possible variations in the age of the process and its peculiarities at different levels of heat and mass transfer. Practical significance. The study emphasizes that mineral deposits are characteristic to thermal anomalies and other environmental parameters.

*Key words:* modern activation; deep process; tectonosphere; thermal model.

Надійшла 07.04.2023 р.