

<https://doi.org/10.15407/gpimo2024.01.020>

В.В. Гордієнко, докт. геол.-мін. наук, проф., гол. наук. співр.

E-mail: gordienkovadim39@gmail.com

Scopus author Id = 7102473958

ORCID 0000-0001-9430-7801

І.В. Гордієнко, канд. геол. наук, пров. наук. співр.

E-mail: tectonos1234@igph.kiev.ua

ORCID 0000-0002-5619-0486

Scopus author Id = 5719836183

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

03680, м. Київ, просп. Паладіна, 32

ТЕПЛОВИЙ ПОТІК РЕГІОНІВ ЄВРАЗІЇ, ПІВНІЧНОЇ АМЕРИКИ ТА АТЛАНТИКИ

Стаття є викладом результатів досліджень чергового етапу комплексного геофізичного контролю моделей глибинних процесів у тектоносфері континентів і океанів, побудованих відповідно до геологічної теорії. Моделі кори та верхньої мантії розташовані вздовж системи профілів, що оперізують північну півкулю Землі, на яких є (місцями — уривчасті, особливо в океанах) розрізи глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ). На першому етапі досліджень контроль виконано для щільнісних моделей. Показано, що гравітаційне поле завжди можна пояснити розрахунковими ефектами з величинами розбіжностей, що відповідають похибкам. Другий етап присвячений тепловим моделям, ефекти яких порівнювалися зі спостереженим розподілом теплового потоку (ТП) через поверхню. Розв'язання задачі ускладнено безліччю особливостей прояву нестационарного теплового поля. Частину їх можна розглядати як субповерхневі перешкоди, які потрібно усунути (але, зазвичай, це не зроблено). Виконана робота охоплювала простори Євразії та Північної Америки, Атлантичний океан та периферійний фрагмент Тихого, перехідні зони між континентами та океанами. На континентах були вивчені активізовані та неактивізовані платформи, фанерозойські геосинклінали та рифти. У перехідних зонах — западини із сучасною океанізацією, островні дуги, глибоководні жолоби. В океанах — улоговини та серединно-океанічні хребти (СОХ). На СОХ і в деяких інших районах океанів інтенсивність перешкод не дозволяє використовувати спостережені ТП для запланованого контролю. В інших регіонах результат отримано часто після згладжування поля теплового потоку. На континентах ситуація краща, хоча й тут трапляються випадки, коли значні частини профілів слід просто виключити з розгляду через неприйнятний рівень похибок. Проте в цілому вдалося показати відповідність теплових моделей глибинних процесів експериментальним ТП в межах похибок спостереження та розрахунку.

Ключові слова: континенти та океани, теплові моделі тектоносфери, порівняння розрахункових та спостережених теплових потоків

Цитування: Гордієнко В.В., Гордієнко І.В. Тепловий потік регіонів Євразії, Північної Америки та Атлантики. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2024. **20**, № 1: 20—32. <https://doi.org/10.15407/gpimo2024.01.020>

Вступ

Стаття є результатом завершальної (четвертої) частини роботи авторів, що присвячена контролю геофізичними даними схем глибинних процесів у тектоносфері Землі. Схеми побудовані за геологічною теорією [10 та ін.]. Для контролю використані дані по регіонах північної півкулі Землі, які представляють практично всі варіанти ендегенних режимів континентів та океанів. Спочатку передбачалося побудувати щільнісні моделі. У корі розподіл щільності виконувався за швидкісними розрізами по профілях ГСЗ, у мантиї — відповідно до теоретичних моделей тепломасопереносу для різних режимів. Розраховувалися гравітаційні ефекти та без підбору (що важливо) зіставлялися з спостереженим полем. Прийнятний рівень узгодження визначався за відповідністю похибок розрахунку та спостереження. У трьох публікаціях викладені умови відбору матеріалу та методики моделювання [12 та ін.]. На базі профілів через Євразію, Північну Америку, Атлантичний і Тихий океани та перехідні зони загальною довжиною приблизно 30 000 км була доведена реальність та успішність такого контролю. Середня різниця полів складала 16 мГл. Це не перевищує реальної оцінки похибок. Але визначилася потреба у доповненні роботи за рахунок даних з профілів ГСЗ дещо іншої якості на відміну від використаних в значній мірі «відбірних». Вона була проведена на тих самих континентах та Атлантичному океані на профілях загальною довжиною коло 20 000 км. Загалом результати моделювання та зіставлення експериментальних гравітаційних аномалій з розрахованими можна цілком вважати і в цьому випадку [2] позитивними. Середня величина різниць полів складає 14 мГл, незважаючи на поодинокі значні розбіжності.

Потім на першій системі профілів була проведена робота з теплового моделювання тектоносфери з розрахунком величини теплового потоку (ТП) через поверхню. У цьому випадку складно було чекати на стабільну прийнятну різницю між розрахованими та спостереженими величинами, бо у багатьох районах

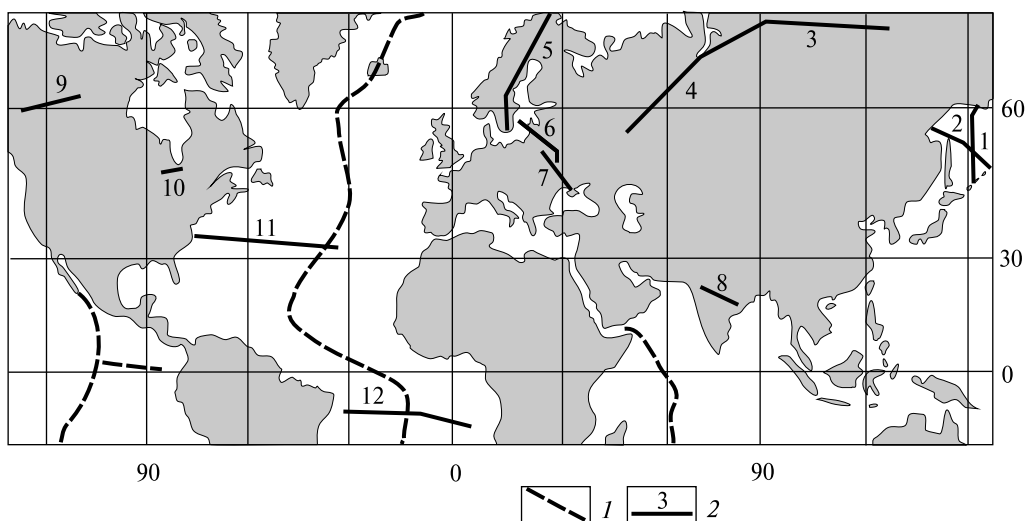


Рис. 1. Розташування досліджених профілів ГСЗ: 1 — вісь серединно-океанічного хребта; 2 — профіль ГСЗ та його номер

похибка спостереженого ТП була незрозуміла через відсутність виправлень (урахування умов експерименту). Особливо це стосувалося океанів. Середня розбіжність склала 13 мВт/м^2 . Але довелося на якісному рівні виключити з розгляду частину матеріалу, що мала очевидні недоліки [13]. Наприклад, неможливо визначати регіональну величину ТП у магматичних зонах різного походження, у районах океанів з спостереженими значеннями близько нуля з невизначених причин, у регіонах вічної мерзлоти (задовільні виправлення для них ще не розроблені) та ін. Тому логічним здавалося продовження досліджень з теплового моделювання і на профілях ГСЗ другої групи. Результати такої операції викладені нижче у цій статті. Розміщення профілів для обох варіантів моделювання наведене на рис. 1.

Елементи методики

У роботах [11, 13 та ін.] наведена досить детальна інформація про кондуктивне охолодження Землі, радіогенну теплогенерацію порід тектоносфери, конвективне (адвективне) тепломасоперенсення та інші явища, що формують механізм енергетичного балансу Землі та призводять до утворення аномалій теплового потоку через поверхню у зонах з різними ендегенними режимами. У цій статті не будемо повторювати весь цей матеріал, наведемо лише головні характеристики процесу, необхідні для розуміння визначення розрахованих аномалій ТП.

Даних про вміст урану, торію та калію (відповідно — про сучасну теплогенерацію (ТГ)) у породах кори дуже багато. Для тих самих порід встановлено значення швидкості поздовжніх сейсмічних хвиль (V_p) та її залежності від температури (Т) та тиску. Нема проблем і з перерахунком швидкості у щільність (ρ). У результаті отримано кореляційні зв'язки між параметрами порід консолидованої кори $TG = 1,28 \exp(1,54(6 - V_p))$ при платформному розподілі температур. Теплогенерація в різнолітфікованих породах осадового шару пов'язана з V_p як $TG = 1,264 - 0,084 \exp(0,554(V_p - 2))$ (рис. 2) (TG — у мВт/м^3 , V_p км/с). У даному випадку (наявності щільнісних розрізів уздовж профілів ГСЗ) раціонально використовувати зв'язок щільності та ТГ.

Сумарне сучасне виробництво радіогенного тепла у корі під платформою $20 \pm 5 \text{ мВт/м}^2$ ($W_k = TG \cdot H$, де H — потужність шару), під геосинклінальними поясами — $17,5 \text{ мВт/м}^2$. Під океанами з потужністю твердої кори близько 6 км (приблизно 0,5 км представлені осадовими породами, 5,5 км — основними) середня теплогенерація в корі складає близько $0,5 \text{ мкВт/м}^3$, сучасне сумарне виробництво енергії — 3 мВт/м^2 .

У корі зустрічаються відмінності у ТГ близько 20 %, що безпосередньо проявляється у величині теплового потоку. Не виключено, що флуктуації такої інтенсивності є і в мантії (див. нижче — профілі 5 та 6) [4, 6 та ін.]. Тому можливо, що від 4,2 до 2,5—3 млрд р. тому «енергонасиченості» мантій платформ і геосинкліналей відрізнялися в межах природних варіацій. Такому рівню відповідає сучасна теплогенерація у мантії океанів. Для теперішнього часу ТГ мантії платформ становить $0,043 \text{ мкВт/м}^3$. Під фанерозойськими геосинкліналями та океанами ця величина становить 0,06 та 0,08 мкВт/м^3 відповідно. Оцінка ТП від тривалого охолодження мантії з урахуванням радіогенної теплогенерації під платформою та теплоємності для реальних РТ-умов становить 20 мВт/м^2 . Збільшення ТГ під гео-

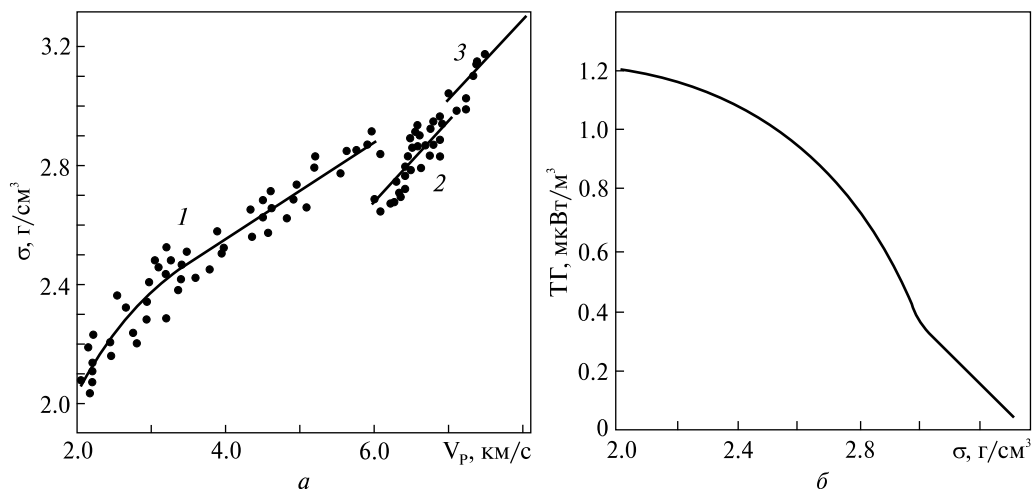


Рис. 2. Корелятивні зв'язки швидкості та щільності (а) та щільності і теплогенерації (б) для порід земної кори. Кореляція швидкості та щільності: 1 — для літфікованих осадових; 2, 3 — кристалічних порід кори (2 — з V_p менше 7 км/с, 3 — більше 7 км/с)

синкліналями та океанами веде до зростання ТП з мантії на 2—3 та 5 мВт/м².

Сума всіх трьох компонентів кондуктивного теплового потоку становить в даний час 40 мВт/м², що дуже близько до ТП, що спостерігається на платформі поза аномаліями, пов'язаними з глибинним тепломасопереносом. На добре вивченій території України такий тепловий потік зафіксовано на схилі Воронезької антеклизі, у Дніпровсько-Донецькій западині, на Українському щиті, Волино-Подільській плиті, Південно-Українській монокліналі. Часто спостережений потік вище приблизно на 2 мВт/м², що може бути в ряді районів пов'язане з наявністю осадового шару відносно високої ТГ, а на щиті — з поширенням гранітоїдів.

На описаній фоновій основі побудовано схеми тепломасоперенесення у тектоносферах регіонів з активними ендеогенними режимами континентів та океанів та розраховано аномальні величини сучасних теплових потоків.

На континентальних платформах у зонах сучасної активізації (СА) ТП вище за фоновий (40—45 мВт/м²) на 15 мВт/м² і становить 55—60 мВт/м². Аномалія не проявляється у регіонах, де корова частина тепломасопереносу відбулася нещодавно і тепловий фронт ще не наблизився до поверхні (Дніпровсько-Донецька западина та ін.). На локальних ділянках проникних розломів із флюїдним перенесенням тепла тут видно аномалії інтенсивністю до 20 мВт/м². На континентах трапляються й райони (переважно на молодих епігерцинських платформах) із проявами недавнього магматизму. Тут сплески ТП особливо значні.

У альпійських геосинкліналях (зазвичай, ускладнених проявами сучасної активізації) тепловий потік різко підвищений — приблизно 100 мВт/м² у внутрішніх частинах великих активних областей. У вузьких зонах аномалії нижче. Поблизу проявів магматизму та на гідротермальних полях він ще вищий і різко змінюється площею. Помітні аномалії (інтенсивністю до 10—20 мВт/м²) демонструють результати розрахунків та спостережень у пізніх кімерадах (ларамідах). Порівнянні за інтенсивністю з альпійськими геосинклінальними аномаліями ТП виявлено в альпійських рифтах.

В океанічних регіонах кондуктивна частина теплового потоку становить близько 30 мВт/м^2 , залишковий ефект океанізації кімерійського віку в улоговинах доводить ТП до $40\text{—}45 \text{ мВт/м}^2$, а додавання сучасної активізації — до $55\text{—}60 \text{ мВт/м}^2$. Ця середня величина проявляється у вигляді значно більших збурень у локальних зонах молодого магматизму та термальних полів, що веде до сильної мінливості параметра. В областях рифтогенезу на океанічній корі (серединно-океанічних хребтах — СОХ) середні величини теплового потоку перевищують 100 мВт/м^2 , поширені і набагато більші значення вулканічних проявів. На описаному фоні виділяються знижені ТП окраїнних жолобів у перехідних зонах до континентів та окраїнних плато СОХ. У їх межах (ймовірно, і в деяких інших районах океанів поза сучасною активізацією) відсутні джерела аномалій окрім залишкового ефекту кімерійської океанізації. Сучасна океанізація (у задугових западинах) супроводжується високим ТП на рівні 90 мВт/м^2 .

Звичайно, при вивченні конкретного регіону величини теплового потоку у його межах розраховувалися для нього індивідуально, виходячи з геологічної історії.

Зіставлення розрахункових та спостережених даних корисне за прийнятних похибок обох параметрів. У нашому випадку в поняття похибки можуть потрапляти не тільки наслідки технічних недосконалостей проведення вимірювань та обробки їх результатів, але й впливу процесів, не включених до теоретичної моделі. Необхідно оцінити за можливості всі фактори, що діють.

Дані авторів та літературні [18 та ін.] дозволяють досить точно встановити можливі похибки при неповній інформації про компоненти практично стаціонарної частини ТП (не пов'язаної з геологічно недавнім тепломасоперенесенням). Вони становлять $3\text{—}5 \text{ мВт/м}^2$ на неактивізованій платформі та $5\text{—}7 \text{ мВт/м}^2$ у фанерозойських геосинкліналях та океанах. Середня похибка — близько 7 мВт/м^2 . Приблизно такі самі величини пов'язані зі звичайними похибками в оцінці віку глибинних процесів. У сумі мінімальна помилка (очевидно, враховані не всі фактори, наприклад, не завжди точно відомі межі зон із різними ендегенними режимами) буде близько 10 мВт/м^2 . Зважаючи на такий результат, розрахований розподіл ТП потоку на рис. 3—8 показано спрощено, без варіацій в межах похибки.

Похибку експериментальних даних можна оцінити, порівнюючи значення теплових потоків у пунктах, що практично співпадають. Однак доводиться констатувати, що нерідко трапляються райони з великим розкидом значень ТП [16 та ін.]. Зіставлення втрачає сенс. Відповідні ділянки профілів виключалися із аналізу. На «спокійніших» територіях отримані у зазначених пунктах відхилення від середніх значень на рівні $10\text{—}15 \text{ мВт/м}^2$. Приклад подібної вибірки наведено нижче (див. профіль 12). Звичайно, основну роль в накопиченні таких даних відіграли відомості по океанах. Але й на континентах трапляються подібні варіації ТП. З наведених, поки що досить непевних, оцінок впливає середня припустима величина відмінностей між розрахунковими та спостереженими ТП близько $16 \pm 2 \text{ мВт/м}^2$.

Результати

Інформація про щільнісні розрізи вздовж профілів ГСЗ, яка застосована для розрахунку теплогенерації у породах земної кори, наведена у [2] разом з бібліо-

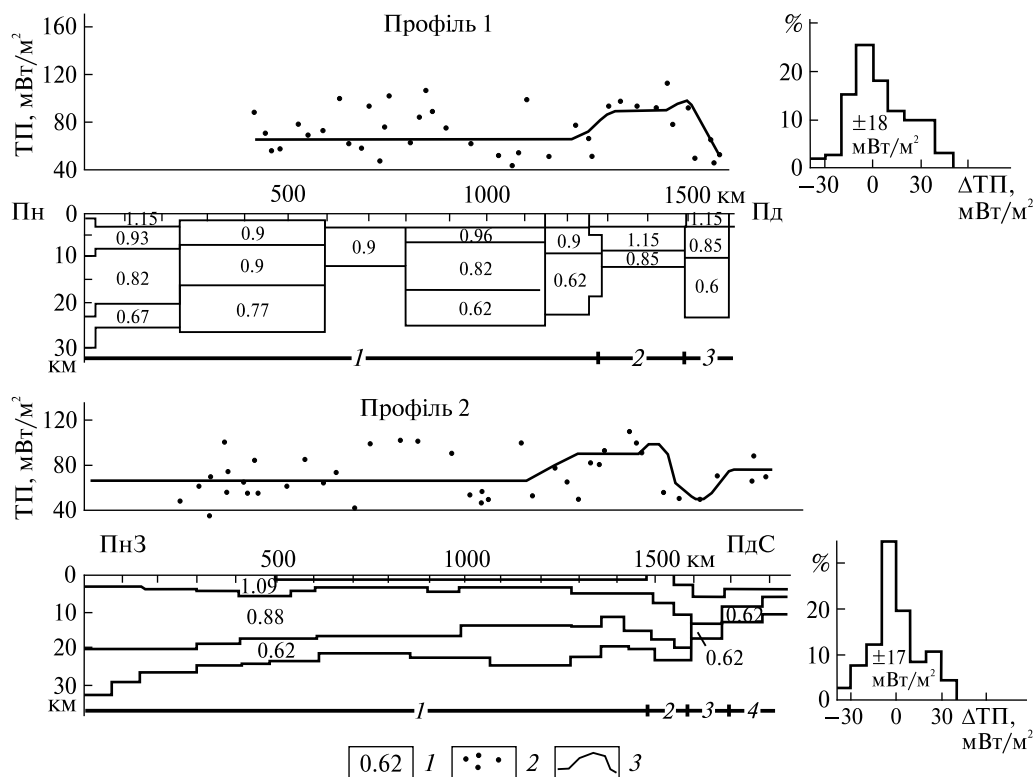


Рис. 3. Результати моделювання ТП вздовж профілів 1 та 2. Профіль 1 (Магадан — Курили): 1 — Охотське море, 2 — Південно-Охотська западина, 3 — Курильська острівна дуга. Профіль 2 (Шантарська затока — вал Хоккайдо): 1 — Охотське море, 2 — Курильська острівна дуга, 3 — крайовий жолоб, 4 — вал Хоккайдо. Умовні позначення: 1 — теплогенерація порід земної кори (мкВт/м³), 2 — спостережений ТП, 3 — розрахований ТП

графією і тут не дублюється. Виключенням є лише невеликий фрагмент профілю 6, що продовжено на територію України, де забезпеченість тепловими потоками значно більша [14 та ін.].

У якості експериментальних даних, представлених на рис. 3—8, використана інформація з численних публікацій про розподіл ТП на континентах та океанах [1, 3, 5, 7—9, 14—18 та ін.]. Кількість визначень загалом значна, але в океанах поширені райони з дуже розрідженою мережею спостережень ТП та багато місць із явним впливом значних спотворень.

На рис. 3 представлені профілі 1—2, що проходять окраїнними північно-східними акваторіями перехідної зони між Тихим океаном та Євразією. У центрі профілів 1 та 2 — Охотське море, обрамлене альпійськими геосинкліналями Сахаліну (на профілі 1 — біля північного замикання), Камчатки та Курильської дуги. Кіммерійські структури представлені Сіхоте-Алінем (профіль 2), західною Камчаткою та фундаментом Охотоморської западини. Частина останньої (Південно-Охотська западина та прилеглі із заходу акваторії — профіль 2) охоплені різностадійними процесами океанізації [8 та ін.]. Тут наочно проявляється міграція процесу океанізації від острівної дуги у бік задугового моря. На схід від Камчатки та Курил профілі перетинають глибоководний жолоб і виходять на край Північно-Західної плити Тихого океану — вал Хоккайдо (профіль 2).

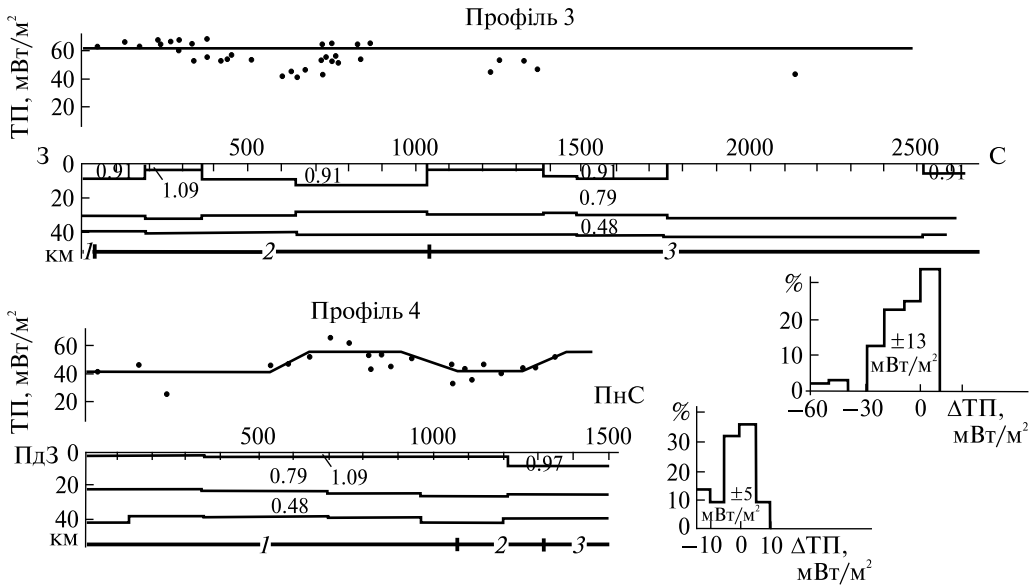


Рис. 4. Результати моделювання ТП вздовж профілів 3 та 4. Профіль 3 (Горизонт): 1 — Урал, 2 — Західно-Сибірська плита, 3 — Сибірська платформа. Профіль 4 (Глобус). 1 — Східно-Європейська платформа (СЄП), 2 — Печорська плита, 3 — Урал. Умовні позначення див. на рис. 3

Геолого-геофізичні ознаки глибинних процесів у регіонах, що перетинаються профілями, діагностуються впевнено, відповідні теплові моделі тектоносфери та розподіл теплового потоку розраховуються з достатньою достовірністю. Тим не менш, неузгодженість розрахункових і спостережених значень ТП досить велика. Не викликає сумніву, що вона пов'язана з проявами магматизму, ефекти якого відсутні в розрахунковому полі. Природа перешкод на профілі 1 в Охотському морі не скрізь зрозуміла. Нечисленні спостережені дані були зібрані тут у смугі шириною близько 200 км та частково осереднені. Виявлені розбіжності не виходять за прогнозний рівень.

На профілі 3 представлені активізовані платформні плити [12], цьому ендегенному режиму відповідає ТП 55–60 мВт/м² (див. вище). Приблизно на пк 0–1000 спостережений тепловий потік відрізняється від цих величин трохи більше, ніж похибка розрахунку. На схід він скорочується до значень менше корового. Тут неправильно враховано вплив вічної мерзлоти на термограми свердловин. Такі дані не слід використовувати (рис. 4), фрагмент профілю було виключено з розгляду.

На відміну від ендегенного режиму, якій було використано у роботі [2], для території Уралу був прийнятий стан сучасної активізації. Відповідно розрахований ТП підвищився практично до рівня східнішого регіону. Заміна типу ендегенного режиму була пов'язана, переважно, з бажанням зберегти єдність розвитку регіону, що на інших перетинах явно активізований.

Активізація платформи, яку перетинає профіль 4 на пк 0–500 викликає сумнів. У модель вона не була внесена незважаючи на результати гравітаційного моделювання [2]. Не виключено, що поява у цьому районі значної мантийної гравітаційної аномалії пов'язана з дуже спрощеним характером швидкісного розрізу кори. Далі на північний схід активізація впевнено діагностується за наявністю родовищ вуглеводнів.

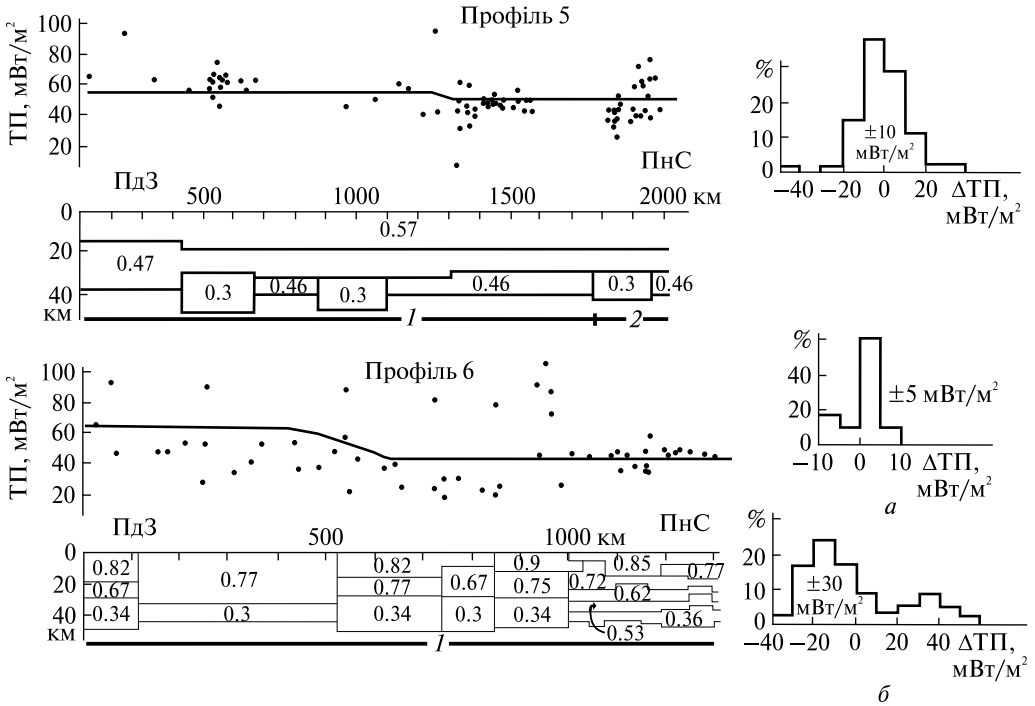


Рис. 5. Результати моделювання ТП вздовж профілів 5 і 6. Профіль 5 (Феннолора): 1 — Балтійський щит, 2 — каледоніди. Профіль 6 (Євробридж): 1 — Східно-Європейська платформа. Гістограми розподілу різниць між розрахованими та спостереженими ТП: а — у межах України, б — поза межами України. Умовні позначення див. на рис. 3

Узгодженість розрахованих та спостережених теплових потоків уздовж профілів 3 та 4 вкладається в обумовлену вище норму.

Профілі 5 та 6 майже цілком проходять по СЄП. Наявність на північному фланзі профілю 5 каледонської складчастої області не впливає на розраховані ТП (рис. 5). На обох профілях досить впевнено визначаються райони сучасної активізації, де розрахованим підвищеним величинам ТП відповідають такі ж спостережені. Але варіації останніх дуже великі. У відомих геологічних фактах не спостерігаються відповідності цим екстремальним значенням. Вірогідніше, мова йде про недоліки виправлення експериментальних даних. На північній частині профілю 5 та південній профілю 6 розрахунок включає вплив зниженої теплогенерації у породах мантії. У спостережених теплових потоках це помітно тільки у другому випадку (у межах України). Результати зіставлення розрахованих та експериментальних даних укладаються у визначені межі на профілі 5 і виходять за них (за рахунок північної частини) на профілі 6.

Профіль 7 цілком розташований в Україні, перетинаючи її від центру Криму до північної частини Волино-Подільської плити. У середній частині плити профіль проходить периферією зони сучасної активізації, у другу зону (ефект якої посилений залишковими проявами кімерійського геосинклінального процесу) він потрапляє на Скіфській плиті. Відповідні аномалії ТП дозволяють пояснити спостережене поле у поіменованих зонах. За їх межами для пояснення вистачає платформних величин теплового потоку (рис. 6).

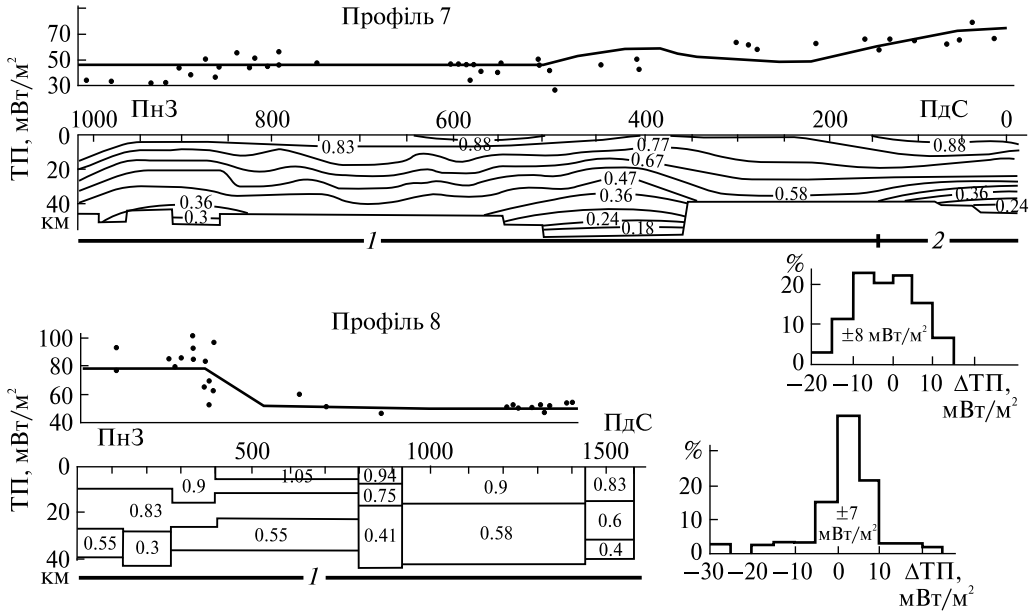


Рис. 6. Результати моделювання ТП вздовж профілів 7 та 8. Профіль 7 (Геотраверс VI): 1 — Східно-Європейська платформа, 2 — Скіфська плита. Профіль 8 (Індійський щит): 1 — Індійський щит. Умовні позначення див. на рис. 3

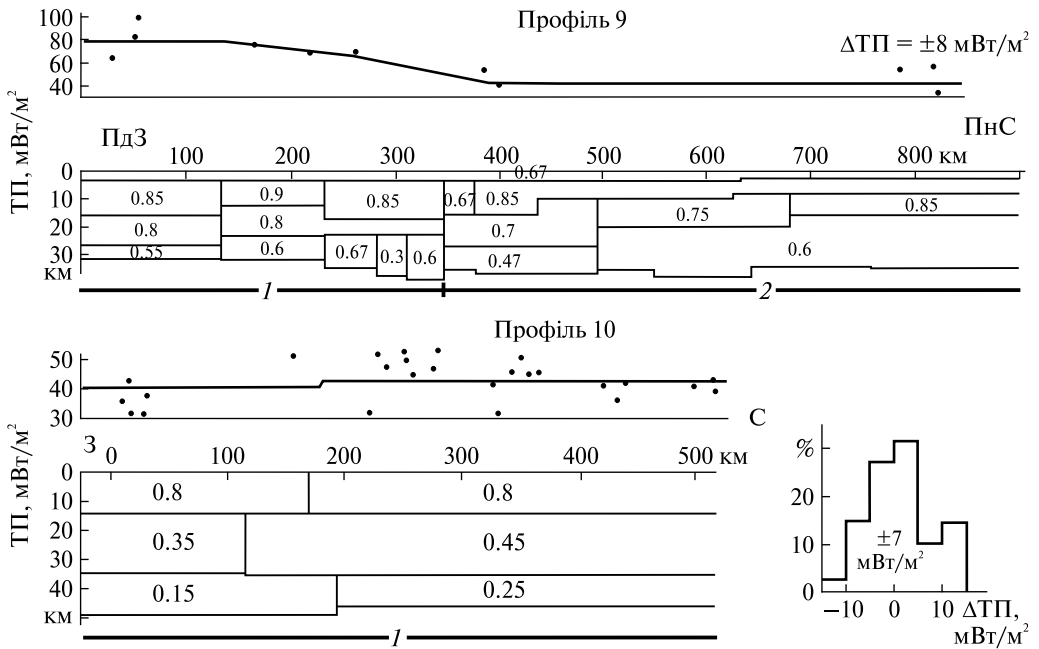


Рис. 7. Результати моделювання ТП вздовж профілів 9 та 10. Профіль 9 (Наханні): 1 — Кордільєри, 2 — Канадський щит. Профіль 10 (Сьюперіор): 1 — Канадський щит. Умовні позначення див. на рис. 3

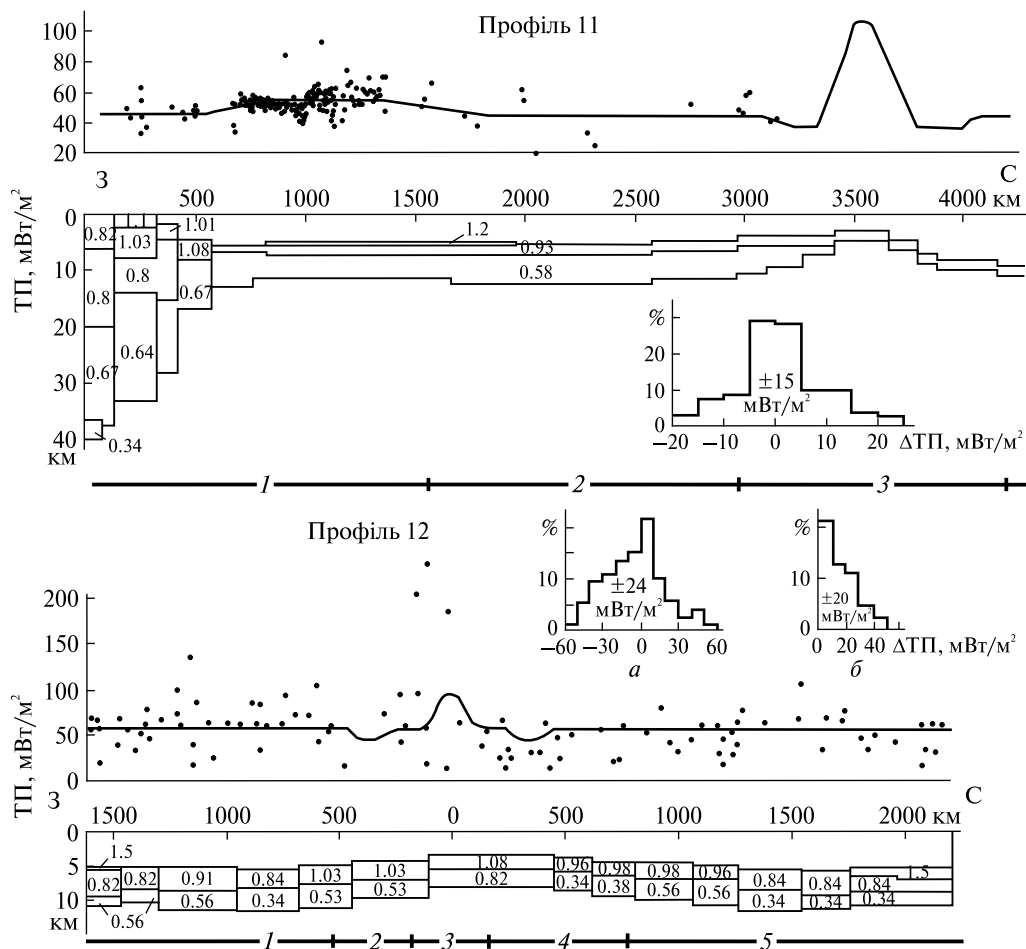


Рис. 8. Результати моделювання ТП вздовж профілів 11 і 12. Профіль 11 (Бермудське підняття): 1 – Бермудське підняття, 2 – абісальна рівнина, 3 – Серединно-Атлантичний хребет. Профіль 12 (Анголо-Бразильський геотраверс): 1 – Бразильська котловина, 2 та 4 – крайові плато Серединно-Атлантичного хребта, 3 – осьова частина Серединно-Атлантичного хребта, 5 – Ангольська котловина. Гістограми розподілу різниць між розрахованими та спостереженими ТП: а – між розрахованими та спостереженими ТП, б – між спостереженими ТП у близьких пунктах. Умовні позначення див. на рис. 3

Профіль 8 значною мірою побудований з окремих фрагментів та в якомусь сенсі незавершений. Уздовж частини профілю (пк 950–1450) структура кори є результатом інтерполяції між трьома блоками невеликого розміру. За межами західного блоку на відносно невеликій відстані починається хребет Східного Гау, ще східніше – океанічний регіон. Інформації про ці своєрідні тектонічні об’єкти на профілі немає, врахувати їх вплив на східний блок профілю не вдається. Тому розраховане поле обмежено на заході пк 1450. На вивченій частині профілю 8 поширені зони сучасної активізації. Узгодження спостереженого та розрахованого полів непогане (див. рис. 6).

Профілі 9 та 10 розташовані у Північній Америці, в Канаді (рис. 7). Авторам невідомі виразні ознаки сучасної активізації платформи у районах обох

профілів, помітна аномалія теплового потоку може формуватися тільки на південно-західному кінці профілю 9. Відповідний фрагмент геосинкліналі Кордильєр має кімерійський вік, тому аномалія не дуже значна (у порівнянні з західнішими альпійськими Береговими хребтами гірського поясу), хоча і доповнена ефектом активізації. З допомогою цього збурення вдається досить точно узгодити спостережене і розраховане поля на частині профілю 9 (див. рис. 7). Інтенсивність аномалії практично та сама, що і на профілі 7, який перетинає межу кімерійської Скіфської плити. На профілі 10 узгодженість розрахованого та експериментального полів досягнута з використанням уявлення про платформний ендегенний режим. Практично всі помітні відступи спостережених значень від модельних спостерігаються у районах, де кілька теплових потоків визначені у близьких пунктах. Тобто відмінності сформовані похибками визначень параметру. Щільність сітки спостережень незначна, для даних на профілі 9 немає сенсу будувати гістограму розбіжностей, і на профілі 10 вона побудована досить умовно.

Профілі 11 та 12 розташовані у Атлантичному океані (рис. 8), перший починається поблизу східного берега Північної Америки і сягає Серединно-Атлантичного хребта, другий проходить між Африкою та Південною Америкою поза перехідними зонами до континентів (наближення до Анголи не показано на рис. 8). Профіль 12 вже досліджувався авторами раніше [12]. Повторний розгляд пов'язаний із залученням суттєвого блоку нових даних по тепловому потоку.

На рис. 8 можна побачити значний діапазон варіацій спостережених теплових потоків. Не всі вони показані; багато нульових чи субнульових результатів не включені до рисунку, найбільші значення також виключені. На профілі 11 у районі пк 3000 є кілька ТП у діапазоні 300 — 360 мВт/м², на осі Серединно-Атлантичного хребта біля профілю 11 визначення теплового потоку відсутні, але приблизно 500 км північніше є компактна група ТП зі значеннями від 0 до 750 мВт/м². На абісальній рівнині та Бермудському піднятті (зоні сучасної активізації) узгодженість розрахованих та вимірених ТП в цілому досить звичайна за виключенням окремих «викидів». Приблизно те саме можна сказати і про профіль 12. На ньому також не показані кілька значень ТП коло 300 мВт/м².

На профілі 12 проведено визначення відхилень значень теплового потоку від середнього у пунктах скупчення, які потім були осереднені перед винесенням на рис. 8. Одержаний результат наближається до середніх різниць між розрахованими та спостереженими тепловими потоками. Очевидно, що така точність виключає застосування ТП для об'єктивного контролю глибинних процесів.

З наведених результатів зіставлення розрахованих та експериментальних теплових потоків ясно, що розбіжності між ними дуже мінливі і частково перевищують передбачені.

Висновки

Проведене зіставлення, як і попереднє [12], можна вважати успішним у намічених рамках за винятком певної кількості матеріалу (профілі 6, 12). Але в процесі роботи виявилися значні недоліки сучасного стану використаної інформації. Величини ΔTP досить впевнено діляться на три групи: 1 — на території України та за її межами, одержані з участю авторів, де до експериментальних величин були внесені потрібні виправлення (профіль 7, практично весь профіль 4, частина

профілю 6), середня ΔTP складає 6 мВт/м^2 ; 2 — на інших профілях, що розташовані на суходолі (профілі 3, 5, більша частина профілю 6, профілі 8—10), середня ΔTP — 12 мВт/м^2 (враховуючи максимальний варіант 30 мВт/м^2); 3 — на профілях в океані (профілі 1, 2, 11, 12), середня ΔTP — 18 мВт/м^2 (враховуючи максимальний варіант 24 мВт/м^2).

Треба зазначити, що вказані відмінності суттєво не залежать від похибок розрахунку TP . Результати досліджень, спрямованих на контроль схем глибинних процесів у тектоносфері Землі за допомогою розподілу теплового потоку через поверхню суттєво відрізняються від проведених з використанням гравітаційного поля. В останньому випадку дуже значну роль грала вивченість сейсмічними методами земної кори. З точки зору теплового ефекту кора не має принципового значення. Можливі варіації радіогенного TP , як правило, знаходяться на рівні мінімальних помилок спостережених значень. Ті ж самі випадкові варіації експериментальних даних стають визначальними у визнанні успішності всієї операції контролю. Не рятує і осереднення розподілу TP . У цій процедурі не встановлено конкретних правил. Здається дуже вірогідним, що з осереднення треба виключити дуже високі теплові потоки, бо вони можуть бути пов'язані з локальними магматичними чи гідротермальними об'єктами. Також явно не характерними для глибинного теплового потоку здаються нульові чи субнульові значення TP . Але у випадках більш помірних відхилень від регіонального фону оцінки користі осереднення стають все більш суб'єктивними. По суті єдиний надійний вихід з наявного становища є послідовне введення виправлень. Приклад геотермічних досліджень України показує, що такий результат досяжний. Якщо порівняти результати за профілями, що повністю чи частково знаходяться в межах України, або територій, вивчених авторами за межами України, з іншими на суходолі, то отримуємо різницю ΔTP практично вдвічі, а в океані — втричі меншу. А найменші ΔTP демонструють можливість одержувати результати зіставлення на рівні мінімальних можливих похибок розрахунку та експерименту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Геофизическая модель тектоносферы Европы. Ред. В.В. Гордиенко. Киев: Наук. думка, 1987. 184 с.
2. Гордієнко В.В., Гордієнко Л.Я. Мантийні гравітаційні аномалії регіонів Євразії, Північної Америки та Атлантики. *Геол. і кор. копалини Світового океану*. 2023. № 2. С. 50—62.
3. Гордиенко В.В., Завгородняя О.В., Якоби Н.М. Тепловой поток континентов. Киев: Наук. думка, 1982. 184 с.
4. Светов С.А., Смолькин В.Ф. Модельные РТ-условия генерации высокомагнезиальных докембрийских магм Фенноскандинавского щита. *Геохимия*. 2003. № 8. С. 879—892.
5. Тектоносфера Тихоокеанской окраины Азии. Ред. К.Ф. Сергеев, В.В. Гордиенко, М.Л. Красный. Владивосток: ДВО РАН, 1992. 238 с.
6. Цымбал С.Н., Цымбал Ю.С., Состав верхней мантии и алмазоносность северо-западной части Украинского щита. *Минер. журнал*. 2003. № 5/6. С. 70—87.
7. Davies J. Global map of solid Earth surface heat flow. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2013. 14. DOI 10.1002/ggga.2271
8. Fuchs, S; Beardsmore, G; Chiozzi et al. A new database structure for the IHFC Global Heat Flow Database. *International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applied Geothermics*. 2021. 4 (1), P. 14. <https://doi.org/10.31214/ijthfa.v4i1.6>
9. Gordienko V.V. Thermal processes, geodynamics, deposits. 2017. 283 p. <https://ivangord2000.wixsite.com/tectonos>
10. Gordienko V. About geological theory. *Geophys. Journ.* 2022. 2. С. 68—92.

11. Gordienko V. On energy balance of the tectonosphere. *Geodynamics*. 2023. 2. P. 62—71.
12. Gordienko V., Gordienko L. Mantle gravitational anomalies in zones of different endogenous earth regimes. *NCGT Journal*. 2023. 1. P. 63—77.
13. Gordienko V., Gordienko I. Thermal models of the continents and oceans tectonosphere. *NCGT Journ*. 2023. 2. P. 113—130.
14. Heat flow map of the European part territory of the. Ed. V.V. Gordienko, A.A. Smyslov, U.I. Moiseenko. Kyiv: Mingeo Ukrainian SSR CTE. 1987.
15. Heat flow map of the territory of the USSR. 1 : 5,000,000. Ed. V. V. Gordienko, U. Moiseenko. Moscow: Mingeo USSR, 1991. 4 p.
16. Le Gal V., Lucazeau F., Cannat M. et al. Heat flow, morphology, pore fluids and hydrothermal circulation in a typical Mid-Atlantic Ridge flank near Oceanographer Fracture Zone. *Earth and Planetary Sc. Letters*. 2018. **483**. P. 423—433.
17. Map of deep heat flow in Ukraine. M-b 1: 2 500 000 / Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnya O.V., Usenko O.V. 2002.
18. Stein C., Stein S. A model for the global variation in oceanic depth and heat flow with lithospheric age. *Nature*. 1992. V. 359. P. 123—129.

Стаття надійшла 08.03.2024

V.V. Gordienko, Dr. Sci. (Geol.&Mineral.), Prof., Chief Researcher

e-mail: gordienkovadim39@gmail.com

ORCID 0000-0001-9430-7801

Scopus author Id = 7102473958

I.V. Gordienko, PhD (Geol.), Leading Researcher

e-mail: tectonos1234@igph.kiev.ua

ORCID 0000-0002-5619-0486

Scopus author Id = 5719836183

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine

32, Palladin ave., Kyiv, Ukraine, 03142

HEAT FLOW IN THE EURASIAN, NORTH AMERICAN AND ATLANTIC REGIONS

The article is a presentation of the research results of the next stage of complex geophysical control of models of deep processes in the tectonosphere of continents and oceans, built by geological theory. Models of the crust and upper mantle are located along a system of profiles encircling the northern hemisphere of the Earth, which have are DSS sections (in some places fragmentary, especially in the oceans). In the first stage, control was performed for density models. It is shown that the gravitational field can always be explained without fitting by calculated effects with discrepancies corresponding to the errors. The second stage focused on thermal models, the effects of which were compared with the observed heat flow (HF) distribution through the surface. Solving the problem is complicated by many features of the manifestation of a nonstationary thermal field. Some of them can be considered as near-surface interference that needs to be eliminated (but usually this is not done). The work done covered the regions of Eurasia and North America, the Atlantic Ocean, a peripheral fragment of the Pacific Ocean, and transition zones between continents and oceans. Activated and nonactivated platforms, Phanerozoic geosynclines, and rifts were studied on the continents. In transition zones, there are depressions with recent oceanisation, island arcs, and deep-sea trenches. In the oceans, there are basins and the mid-ocean ridge (MOR). In the MOR and some other areas of the World Ocean, the intensity of interference does not allow the use of observed HF for routine monitoring. In other regions, the result was achieved, although often after smoothing out the heat flow field. On the continents, the cases are better, although there are also situations where significant parts of the profiles should simply be excluded from consideration due to an unacceptable level of error. However, here it was possible to confidently demonstrate the correspondence of thermal models of deep processes to experimental HF within the limits of observation and calculation errors.

Keywords: continents and oceans, thermal models of the tectonosphere, comparison of calculated and observed heat flows.