

<https://doi.org/10.15407/gpimo2020.04.019>

В.В. Гордієнко, доктор геол.-мін. наук, професор, завідувач відділу
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
03680. м. Київ, просп. Палладіна, 32
E-mail: gordienkovadim39@gmail.com
ORCID 0000-0001-9430-7801
Scopus authorId=7102473958

Л.Я. Гордієнко, наук. співр.
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
03680. м. Київ, просп. Палладіна, 32
E-mail: lyagord@gmail.com
ORCID 0000-0002-8067-9732

ШВИДКІСНА МОДЕЛЬ ВЕРХНЬОЇ МАНТІЇ ФЛАНГОВИХ ПЛАТО СЕРЕДИННО-ОКЕАНІЧНИХ ХРЕБТІВ

У вивчення швидкісних розрізів верхньої мантії регіонів континентів, океанів і перехідних зон з різними ендегенними режимами (згідно адвекційно-поліморфній гіпотезі — АПГ) включений новий елемент — флангові плато (ФП) серединно-океанічних хребтів (СОХ). Передбачається, що ці регіони пройшли процес океанізації в мезозої разом з іншими частинами океанів. У неогені сформувалися СОХ. Значні частини улоговин були охоплені молодю активізацією, включаючи магматизм. Між цими частинами океанів збереглися порівняно вузькі смуги (шириною 200—300 км), які ряд авторів називають фланговими плато. Вони розташовуються на краях СОХ. ФП не зазнали молодшої активізації. На це вказують особливості рельєфу дна, магнітного, гравітаційного і теплового полів, швидкісного розрізу верхніх горизонтів мантії.

Елементом перевірки природи ФП може служити побудова швидкісного розрізу мантії під цими регіонами. За АПГ він повинен відрізнятися від сусідніх підвищеною швидкістю сейсмічних хвиль у верхніх приблизно 200 км. Експериментальних даних для такої роботи виявилось вкрай мало. Вдалося побудувати тільки один годограф, використовуючи дані по південній частині Атлантичного океану. Залучена також незначна інформація по південній частині Східно-Тихоокеанського підняття і Серединно-Індоокеанському хребту. Годограф відповідає швидкісному розрізу, який повністю збігається з пронозним. Останній був розрахований за схемою тепломасопереносу у варіанті АПГ і тепловою моделлю мантії.

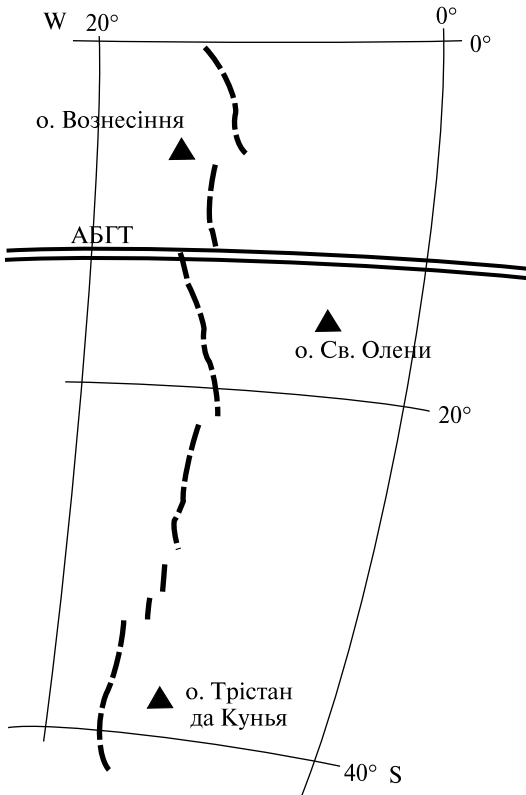
Швидкісний розріз мантії ФП не містить вказівок на шар часткового плавлення. Отже, на ФП не повинно бути проявів молодого магматизму. Перевірка показала, що в більшості вивчених фрагментів СОХ це відповідає дійсності.

Ключові слова: *серединно-океанічні хребти, флангові плато, швидкісні розрізи верхньої мантії.*

Цитування: Гордієнко В.В., Гордієнко Л.Я. Швидкісна модель верхньої мантії флангових плато серединно-океанічних хребтів. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2020. 16, № 4: 19—31. <https://doi.org/10.15407/gpimo2020.04.019>

Вступ

У статті викладені результати одного із завершальних етапів роботи авторів з побудови швидкісних (V_p) моделей верхньої мантії регіонів Землі з різними типами ендегенних режимів континентів і океанів [2, 3, 5, 6 та ін.]. Вивчено один з районів океану, для якого передбачався своєрідний хід геологічної історії, що відрізняє його від сусідніх — серединно-океанічних хребтів (СОХ) і улоговин. Автори припускають, що між цими зонами з різними сучасними глибинними процесами залишається відносно невеликий простір, не порушений ними. Хоча попередні акти тепломасопереносу і перебудови кори, що відповідають океанізації за адвекційно-поліморфною гіпотезою (АПГ) [2 та ін.], тут відбувалися. У роботах [12, 16 та ін.] ці регіони названі фланговими плато (ФП). Деякою аналогією можуть слугувати зони окраїнних жолобів між улоговинами і острівними дугами (за АПГ процеси в дугах помітно не відрізняються від тих, що відбуваються в континентальних альпідах) [2, 5, 6, 10 і ін.]. У них вдалося встановити, хоча і не для всього діапазону глибин верхньої мантії (до 200—300 км), значні аномалії V_p в порівнянні з сусідніми регіонами. У верхніх 200—250 км швидкість перевищує наявну під дугами і улоговинами на 0,15—0,25 км/с. Глибше знак аномалії змінюється. В випадку околиць СОХ такий різкий перепад не очікується (див. нижче). Але головна проблема його виявлення не у величині шуканої аномалії, а в труднощах побудови швидкісної моделі. Для вирішення завдання необхідне розташування сейсмостанцій і епіцентрів землетрусів, що забезпечує пробіг хвиль в мантії ФП, принаймні — в основному в ній. Острови (і, відповідно, сейсмостанції) у СОХ



рідкісні, землетруси зосереджені під вузькими пригребневими коридорами хребтів.

Трохи краща, ніж в інших океанах, ситуація біля Серединно-Атлантичного хребта (САХ). Втім, в північній частині, в районі Азорських островів вдалося знайти потрібне поєднання джерела і приймача коливань тільки в одному місці — у донній сейсмостанції на захід від осі хребта. Отримано дві точки на годографі, що помітно не доповнюють його. На схід від САХ, ймовірно, формується новий хребет. Про це дозволяє судити ланцюжок землетрусів, що простягається до Гібралтару і далі — по Середземному морю. На Азорських островах поширені прояви вулканізму від міоцену (на

Рис. 1. Розташування сейсмостанцій і геотраверсу щодо осі САХ [16 та ін.]

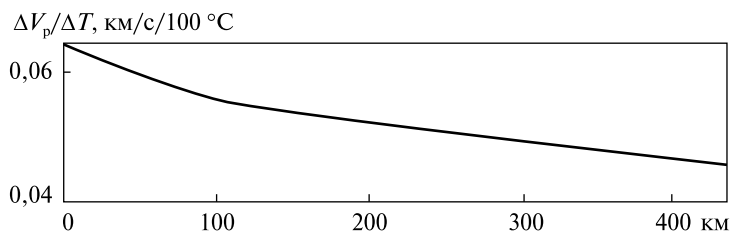


Рис. 2. Залежність зміни швидкості поздовжніх сейсмічних хвиль з температурою від глибини

сході) до сучасного (на заході, у САХ). Дані про часи пробігу хвиль в цьому районі повністю вкладаються в раніше побудований авторами годограф САХ.

На південь від екватора дані сейсмостанцій на островах Трістан да Кунья, Св. Олени і Вознесіння (рис. 1) дозволяють побудувати годограф для хребта і його периферії. Тут же (12° пд.ш.) проходить широтний Анголо-Бразильський геотраверс (АБГТ), уздовж якого (в широкому коридорі 7—17° пд.ш.) виконаний комплекс геофізичних досліджень [11—15 та ін.]. Отримані дані дозволяють виділити ФП і конкретизувати деякі елементи швидкісної моделі.

Можуть бути використані і результати значного обсягу геологічних досліджень, проведених на осьовій частині САХ також на північ від екватора і в широтній (екваторіальній) зоні хребта, на схилах і в осьовій зоні трюгу Романш і прилеглих районах улоговин [1, 16—18, 20 та ін.].

Прогнозна швидкісна модель верхньої мантії периферії САХ

Методика побудови прогносної моделі, що застосовується авторами на протязі всього циклу розглянутих досліджень, використовувалася і в даному випадку. Вона має на увазі: 1) побудову схеми мантійного і корового тепломасопереносу для даного типу ендегенного режиму (за АПГ); 2) розрахунок сучасної теплової моделі кори і верхньої мантії; 3) зіставлення її з моделлю неактивізованої докембрійської платформи; 4) власне побудову швидкісної моделі, що враховує розподіл V_p в мантії під платформою і відмінності в температурах (Т) на кожній глибині. При цьому використовується добре вивчений і випробуваний на багатьох моделях зв'язок змін швидкості поздовжніх сейсмічних хвиль з аномаліями Т для досліджуваного діапазону глибин (рис. 2).

При побудові швидкісних моделей для інших регіонів часто потрібно було враховувати і наявність зон часткового плавлення в мантії. У нашому випадку в цьому немає необхідності (див. нижче).

Опис глибинних процесів у тектоносфері відповідно до уявлень гіпотези тектоніки плит (ГТП) не розглядався. Саме в Атлантичному океані зосереджені численні геолого-геофізичні факти, що вказують на її невідповідність дійсності [2, 12, 17 та ін.]. Деякі з них будуть згадані нижче. Тепломасоперенос і перебудова кори при океанізації згідно АПГ детально проаналізовані в [2 та ін.] і тут повторно не аналізуються. Потужність кори в районі флангових плато САХ явно океанічна, тобто ці фрагменти площі сучасного океану брали участь у її перетворенні (рис. 3).

Для визначеності моделі тепломасопереносу при океанізації необхідно конкретизувати вік події. Досить поширена думка про початок рифтогенезу

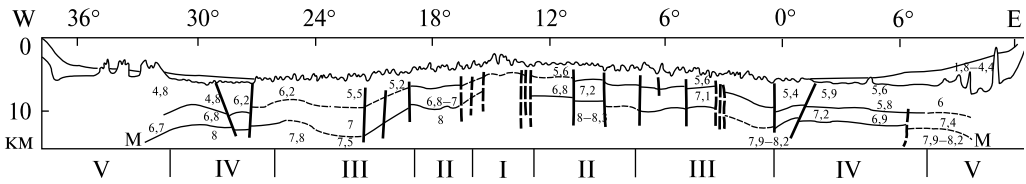


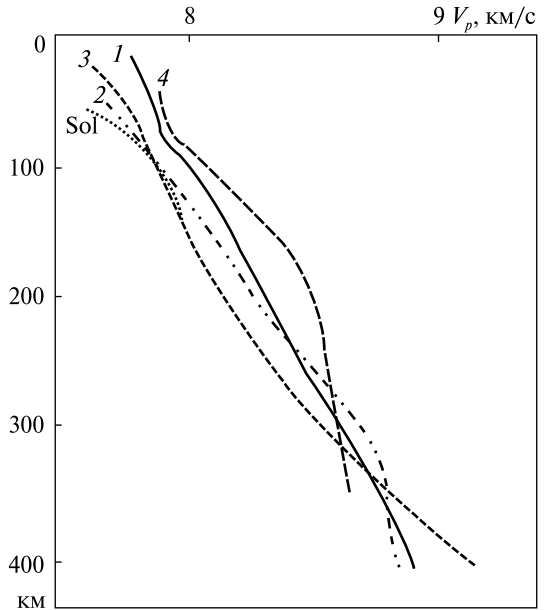
Рис. 3. Швидкісний розріз кори уздовж Анголо-Бразильського геотранверсу [12, 16 та ін.]: I—III — Серединно-Атлантичний хребет: I — гребнева зона, II — флангові плато, III — зони крайового холмогір'я; IV — абісальні плити; V — кінцево-материкові флексури

(океанізації) на площі сучасної Атлантики близько 160 млн років тому [7, 16 та ін.]. У такій оцінці (переважно пов'язаній з ГТП) не визначається послідовність перетворення різних районів. Припустимо, що «Начальные стадии погружения в ряде пассивных окраин ... начались в триасе-юре, погружение направленно смещалось во временном интервале мел-миоцен на запад и восток в южной части Атлантики, в северной ее части — с запада на восток» [1, с. 82]. Відповідно, отримаємо молодий вік перебудови кори САХ. Адже занурення відповідає саме зміні складу і щільності порід в коровому інтервалі глибин. Тобто між періодом існування континентальної кори і сучасним САХ минув геологічно короткий період. Однак, більш імовірно інше датування подій. «В районе сочленения трансформного разлома Романш с рифтовой долиной САХ (~1° ю.ш.) обнажаются ... пелагические известняки, в базальных слоях которых обнаружена фауна нижнемелового возраста (около 140 млн лет). ... в доплейстоцен-раннемеловое время сформированная «океаническая» кора была поднята выше уровня океана, подверглась эрозии в субаэральных условиях, выравниванию рельефа и затем опустилась до уровня неглубокого бассейна, где и происходило отложение известняков» [17, с. 32]. Відомо «...обнаружение... в районе восточного сочленения САХ с зоной разломов Романш мощной (более 4 км) мел-палеогеновой осадочной толщи, верхняя часть которой сложена палеоцен-эоценовыми грубозернистыми кварцевыми песчаниками...» [13, с. 195]. Можна навести й інші факти, що вказують на той самий часовий рубіж, саме він і прийнятий в розрахунку часом завершення океанізації в центральній частині Атлантики. Потім вже в неогені тут формується рифтовий хребет, а в багатьох районах сучасних улоговин відбувається активізація, що включає і магматизм, тобто супроводжується мантіїним тепломасопереносом і прогріванням верхньої тектоносфери.

Якщо в мантії деякої ділянки між ними тепломасоперенос не відбувся, його теплова модель буде являти собою значною мірою релаксовані наслідки мезозойського (почався приблизно на кордоні юри і крейди) процесу, плюс бічний вплив сусідніх (активних і прогрітих у верхній половині верхньої мантії в даний час) блоків тектоносфери. Ширина об'єкта прийнята рівною приблизно 200—300 км (див. нижче). Для нього обчислювалася середня величина T на кожній глибині. Після перерахунку в швидкість за зазначеною вище методикою отримано результат (розподіл температури і, відповідно, швидкості трохи згладжено за глибиною), представлений на рис. 4. Він зіставлений зі швидкісними моделями інших океанічних регіонів.

На глибинах верхньої частини мантії отримано розподіл швидкості близький до попереднього якісного прогнозу. На великих глибинах ситуація досить

Рис. 4. Розподіл швидкості поздовжніх сейсмічних хвиль в тектонофері досліджуваних флангових плато СОХ (1), океанічних улоговин (2), серединно-океанічних хребтів (3) і глибоководних жолобів (4) [2, 5, 6 та ін.]. Sol — розподіл V_p в умовах початку плавлення порід верхньої мантії



невизначена, відмінності розрізів часто не перевищують реальної похибки розрахунку. Очевидно, що прогнозна швидкісна модель флангових плато (як і в разі глибоководного жолоба) не фіксує умов для часткового плавлення мантійних порід і, відповідно, молодого і сучасного магматизму.

Побудова прогнозу моделі має сенс при впевненості в існуванні шуканого об'єкта. Очевидно, що вона може з'явитися (разом з уявленням про те, де він знаходиться) при виявленні ознак, що виділяють об'єкт з навколишнього середовища. У нашому випадку ці ознаки можна пов'язати з відносно низькою температурою блоку ФП на глибинах до 200–300 км. Деякі дані на цей рахунок наведені в роботі [4]. Йдеться про зміну амплітуд смугових аномалій магнітного поля на периферії СОХ і зменшенні приблизно в тих же районах теплового потоку (ТП).

До цих ознак можна додати встановлені в роботі [12], що стосуються безпосередньо району АБГТ (див. рис. 3).

1. Блоки серединного підняття (СОХ) ландшафтно-різномірні. У рельєфі дна відбивається інтенсивність сучасних тектонічних процесів. Вона максимальна в гребньовій зоні (I), середня — в зоні крайового холмогір'я (III) і низька — на флангових плато (II). Таким чином, флангові плато шириною до 300–500 км виділяються як неактивні на сучасному етапі розвитку.

2. На думку авторів [12], для блоків ФП характерний «континентальний» тип аномального магнітного поля. Мається на увазі відсутність чіткої смугастості, що спостерігається в гребньовій зоні.

3. Швидкості сейсмічних хвиль у верхніх горизонтах мантії під гребньовою частиною САХ не встановлені. Можливе тільки порівняння величин V_p під блоками II і III–IV. Між ними виявляється істотна різниця в десятки частки км/с. Під ФП (блок II) вони вище. Абсолютним значенням швидкості не варто надавати істотного значення: багато значень настільки великі, що не можуть бути узгоджені з реальними породами за реальної температури. Такі варіації (по вертикалі і горизонталі) позбавляють сенсу побудову швидкісного розрізу верхніх горизонтів мантії під геотраверсом.

Доповнити перелік ознак, що виділяють ФП, можуть дані вивчення гравітаційного поля і теплового потоку уздовж геотраверсу [2 та ін.] (рис. 5 і 6). В обох випадках представлені дані, знесені на один бік від осі САХ та осереднені. Нуль на горизонтальній осі відповідає центру САХ.

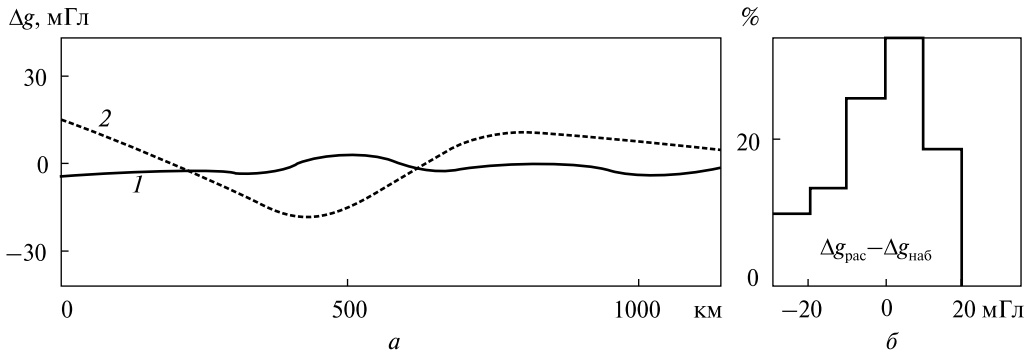


Рис. 5. Порівняння спостереженого (1) і розрахункового (2) гравітаційних полів (а) і гістограма відмінностей між ними (б)

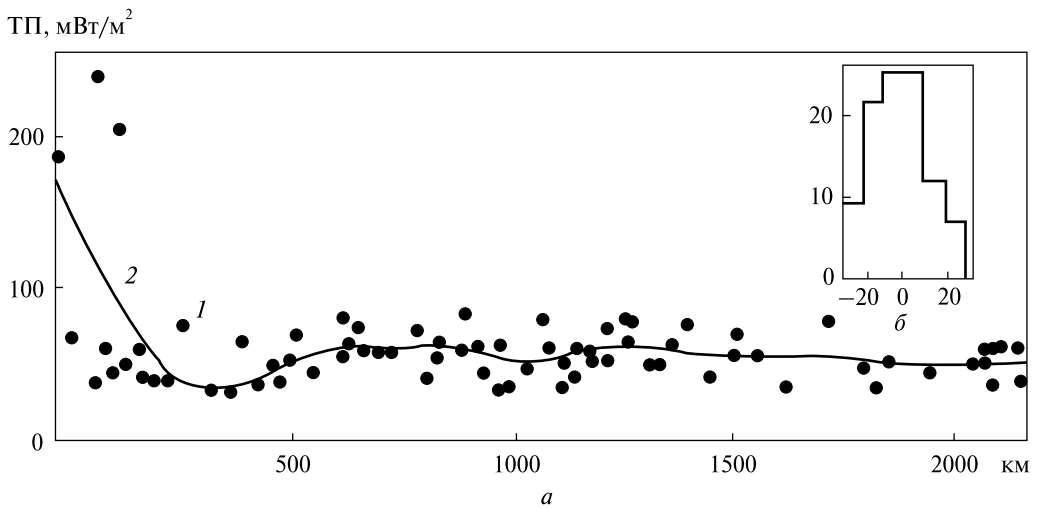
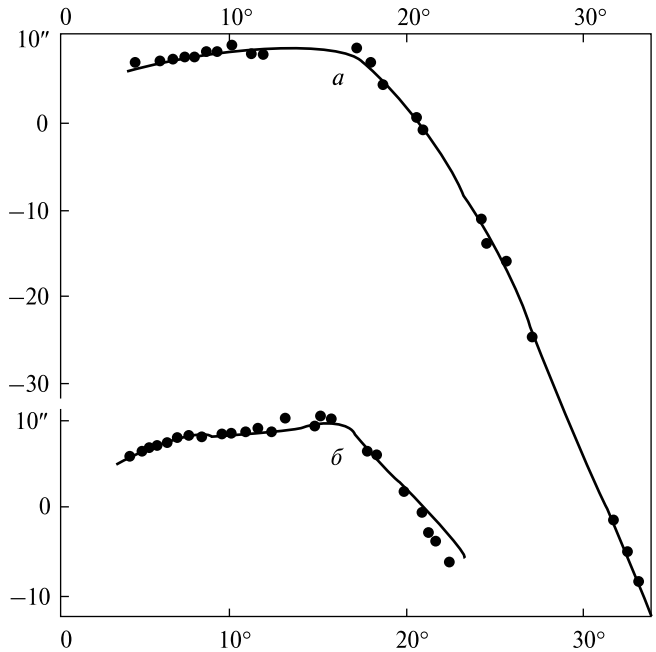


Рис. 6. Значення теплового потоку уздовж Ангола-Бразильського геотраверсу (а) і гістограма розподілу відмінностей між розрахунковими і спостереженими значеннями ТП (б): 1 — значення ТП, 2 — осереднена крива розподілу ТП

4. Розраховане гравітаційне поле встановлено у вигляді суми ефекту земної кори і аномальної мантиї. Аномальність — це ефекти перерахованих вище процесів на всій території океану, включаючи ФП. І саме в цьому районі виявлено відхилення розрахункового поля від спостереженого, що досягає 20 мГл. Воно може вказувати на меншу температуру і велику щільність порід блоку ФП в верхніх горизонтах мантиї. Достовірність такої аномалії невелика: загальний розрахунковий ефект аномальної мантиї в районі серединно-океанічного хребта перевищує 300 мГл. Типові відмінності між розрахунковими і спостереженими значеннями на цьому відрізку профілю (зіставлення проводилося для даних по обидва боки осі САХ) складають 13 мГл (рис. 5, б). Відповідно, можна говорити тільки про збурення гравітаційного поля, діагностоване на якісному рівні.

5. Приблизно такої ж оцінки заслуговує і зафіксоване на рис. 6, а зниження теплового потоку. Мережа спостережень цього параметру нещільна і нерегулярна, виправлення спостережених значень великі і часто невизначені, середні величини на східному і західному флангах різні [14, 15 та ін.]. Типова розбіжність

Рис. 7. Годографи: *a* — для САХ за даними на ст. о. Вознесіння (лінія — годограф для північної частини САХ, точки — результат усереднення спостережених часів приходу хвиль на станцію), *б* — для південної частини Східно-Тихоокеанського підняття (СТП) (лінія — годограф по [2 та ін.], точки — результат усереднення спостережених часів приходу хвиль на станцію о. Пасхи (див. нижче))



між розрахунковими і експериментальними значеннями на розглянутому геотраверсі становить 15 мВт/м². Значний внесок у ці відмінності вносять звичайні для будь-якого регіону з ознаками магматизму різкі сплески теплового потоку поблизу вулканів [15]. У тому числі і тих, що не виявляються в сучасних виверженнях, але зберегли фуमारольну і гідротермальну активність.

Проте, обидва факти можна розглядати як доповнення наведеної вище аргументації на користь меншого прогріву блоків верхніх горизонтів мантії під фланговими плато в порівнянні з сусідніми.

Швидкісна модель тектоносфери флангових плато

У попередніх дослідженнях авторів вивчення САХ було обмежене північною частиною хребта. Залучалися дані про землетруси, встановлені на сейсмостанціях Ісландії і Азорських островів. Тому інформація за вказаними вище станціями в південній Атлантиці була, перш за все, використана для годографа цієї частини САХ (рис. 7) [19]. Годограф був побудований, зокрема, за даними для станції о. Вознесіння (по 475 точкам).

Тут виявилось можливим залучення найбільш віддалених від станції подій за умови проходження хвиль саме по мантії під хребтом. Використаний звичайний підхід: глибини гіпоцентрів приведені до рівня 10 км від поверхні води, час обчислюється з урахуванням редукції швидкості 8,2 км/с. Годограф повністю збігається з побудованим для півночі хребта. Останній годограф незначно, але відрізняється від середнього для СОХ, проте в межах Атлантичного океану узгодження виявляється гранично точним.

За даними по трьох станціях у південній частині САХ (див. рис. 1) і обмеженому матеріалу по станції на захід від Азорських островів (див. вище) побудований годограф по 37 точкам (рис. 8). Він помітно відрізняється від годографа для САХ та улоговин, хоча по розташуванню епіцентрів землетрусів і станцій не можна цілком виключати часткове потрапляння траєкторій поширення хвиль в зони поза ФП.

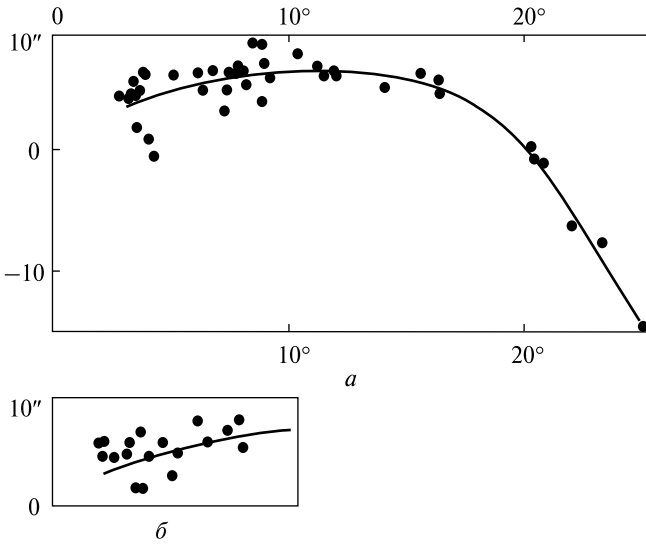


Рис. 8. Годографи: *a* — для флангових плато південній частині САХ, *б* — для східного флангового плато південної частини Східно-Тихоокеанського підняття

Була зроблена спроба побудови годографа ФП для Серединно-Індоокеанського хребта. На близьких до хребта островах розташовано досить багато сейсмостанцій і частина зафіксованих ними землетрусів виявляється

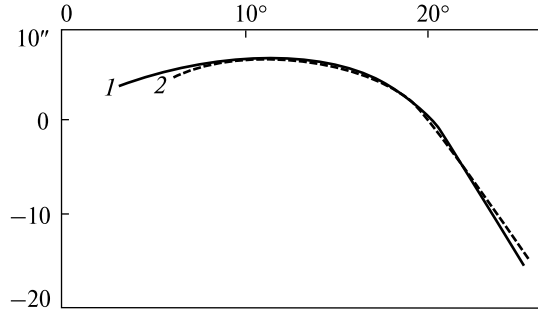
в пунктах передбачуваних флангових плато. Але шляхи хвиль від них до сейсмостанції проходять переважно поза ФП. Кілька точок годографа на незначних кутових відстанях (3—6°) розташовані приблизно так само, як на годографі для Атлантики (рис. 8, *a*). Але зі збільшенням відстані відмінності зростають і немає впевненості, що це збільшення часів приходу хвиль не пов'язане з проходженням їх в мантії під сусідньою улоговиною. У всякому разі, для хвиль, що приходять на сейсмостанції від землетрусів в самих улоговинах, виходять близькі результати.

Ще один район побудови годографа для ФП був обраний у південній частині Східно-Тихоокеанського підняття. Для власне СОХ і тут вдалося зібрати достатньо даних для годографа (339 точок). Отриманий годограф помітно не відрізнявся від побудованого раніше [2 та ін.] (рис. 7, *б*) за винятком невеликої ділянки для максимальної кутової відстані. Але для флангових плато знайшовся матеріал за даними сейсмостанції о. Пасхи тільки для короткого відрізка (2—8°, 18 точок), в межах якого годограф практично не відрізняється від отриманого для ФП САХ (рис. 8, *б*).

Отриманий обмежений масив експериментальних даних все ж може служити для побудови швидкісного розрізу мантії ФП.

Розрахунковий годограф отриманий за програмою SEIS-83 І. Пшенчіка і В. Червене (рис. 9). Як перше наближення використовувалися дані по швидкісному розрізу кори флангових плато САХ (див. рис. 3) і прогнозний (розрахунковий — див. рис. 4) розподіл V_p , що відповідає передбачуваному ендегенному режиму. Ця відповідність поширюється тільки на глибини менш за 400 км. Як показано в роботі [3], приблизно на цьому рівні розміщується покрівля зони поліморфного перетворення порід в мантії під океанами. Вертикальний градієнт швидкості і глибина початку її швидкого зростання визначаються для океанічних регіонів з великими похибками. Тому в модель не було включено конкретний розподіл V_p на глибині понад 400 км. Його замінено шаром з імовірним стрибком швидкості близько 0,6 км/с в порівнянні з підшовою верхньої мантії, тобто приблизно до значення 9,4 км/с.

Рис. 9. Зіставлення годографів для верхньої мантії флангових плато серединно-океанічних хребтів: 1 — спостереженого, 2 — розрахункового



Звичайно, порівняння з експериментальним годографом такої моделі не може виявити швидкість глибше 400 км. Для менших глибин проникнення сейсмічних

хвиль узгодження його з розрахунковим годографом повне. Можна вважати, що прогнозна швидкісна модель підтверджена наявними сейсмологічними даними. Ступінь збігу позбавляє сенсу спеціальне порівняння з експериментальною моделлю. Не слід, однак, забувати, що обсяг використаної експериментальної інформації незначний. Для характеристики швидкісних розрізів верхньої мантії інших океанічних регіонів залучалося незрівнянно більше даних. Причому вони представляли різні океани, в яких вік і зміст актів тепломасопереносу могли не збігатися (проте вони виявлялися цілком узгоджуваними в рамках похибок розрахунків). Порівняно незначна за обсягом база даних використовувалася лише для побудови годографів окраїнних морів. Але в тому випадку основною перешкодою для її поповнення був розмір регіонів.

Геологічні ознаки флангових плато

Наведені вище відомості про знижену тектонічну активність зон ФП вписуються в їх передбачувану природу. Але вони досить невизначені. Молода активізація по обидва боки досліджуваних районів супроводжується проявами магматизму. У деяких випадках відомий вік цих подій [8, 9, 16 та ін.]. Виділяються два основних етапи магматизму — крейдовий і неоген-четвертинний.

Цікаво, що, на думку прихильників ГТП, багато підводних вулканів улоговин приурочені до зон спредінгу. Це не збігається з СОХ за місцем і простяганням [16 та ін.]. Проте, їх прояв в розташуванні смугових аномалій магнітного поля (і, відповідно, розподіл «віку океанічної кори») не відбивається. За винятком частини порівняно великих об'єктів такого роду [4], що діють імовірно з недавнього часу.

Судячи зі швидкісного розрізу (і теплової моделі) мантії ФП, сучасний шар часткового плавлення речовини верхньої мантії в цих регіонах відсутній (див. рис. 4). Тому судити про їхню реальність можна по поширенню молодих вивержених порід на відповідних ділянках серединних піднять океанів. За даними, наведеними в [4], можна припустити, що на околицях СОХ (в 200—400 км від осі) може знаходитися менше 10 % з усіх молодих магматичних проявів хребтів. Однак практично перевірити це твердження виявляється важко. Частина використаних для зробленого твердження аргументів відноситься до континентальних рифтів [4].

Відомості про розподіл підводних вулканів досить великі і поки ще не систематизовані. Стан справ можна проілюструвати інформацією по Тихому і Атлантичному океанам, наведеною у таблиці.

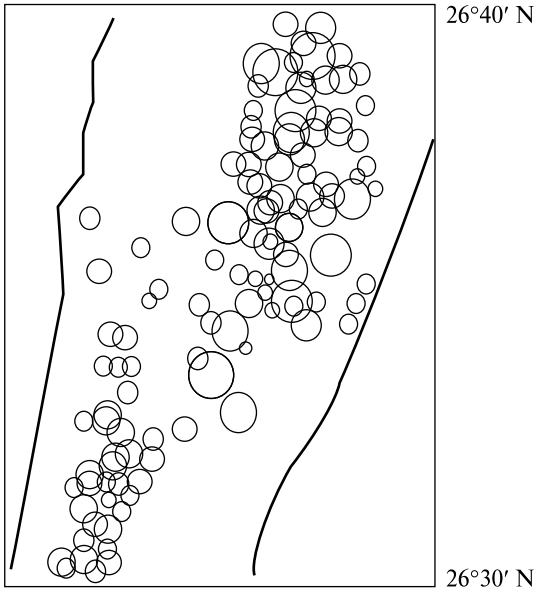


Рис. 10. Розподіл вулканів у рифтовій долині САХ (лінії — розломні обмеження долини)

молодого магматизму не потрапляють в межі прогнозних флангових плато [8 та ін.]. Виняток, мабуть, становить район зчленування підняття з Галапагоським рифтом і деякі (нечисленні) ділянки південніше.

До такого ж висновку можна прийти, розглядаючи відомі абсолютні датування вивчених вивержених порід на дні Атлантики. Більше 1000 підводних вулканів знаходиться на САХ (поза Ісландією і усім Гренландсько-Ісландським порогом з субконтинентальною потужністю земної кори). Ймовірно, мова йде про значні за розміром об'єкти. Адже на короткій ділянці центрального трогоу САХ розташовуються 120 вулканів невеликого діаметру (рис. 10) [18].

В улоговинах вулканів приблизно в 4 рази більше. Тут вони часто утворюють вулканічні хребти. На західному схилі Бразильської улоговини найбільш значні з них (з півночі на південь) Пернамбуку, Стокс і Грель. Вони примикають до Південно-Американського континенту, витягнуті у південно-східному напрямку і не досягають флангових плато САХ. Вулканічні хребти є і на схід від серединного, але тут вони простягаються на північний-схід, місцями відокремлюючи серединний хребет від абісальної рівнини ангольської западини. На південь від екватора це вулкано-тектонічні підняття: Камерунське (продовжує відому в Африці рифтову систему), Китове, Трістан-да-Кунья, Діскавері, Метеор [16]. В районі Азорського архіпелагу східне ФП явно активізовано, а західне, швидше за

Концентрація підводних гір в різних регіонах океанів [18]

Регіон	n/10 ³ км ²	Регіон	n/10 ³ км ²
Тихий океан	4 ± 1,1	Улоговини Тихого океану	n=8882
Схід та південь Тихого океану	5,4 ± 0,6	Північний Тихий океан	0,12
Смуги біля гребня		Східні підняття, СТП включно	
СТП, 7-22° S	2,7 ± 0,8	25-29° S, 104-113° W	2,7 ± 1,5
Південніше СТП, 13-19° S	4,8 ± 0,3	САХ, 26° S	7 ± 0,3
Коло СТП, 0-24° N	9	Трог САХ, 24-30° N	195 ± 9
Північніше СТП, 8-17° N	1,9 ± 0,2	Хр. Рейк'янес, 57-62° N	310 ± 20

Рис. 11. Розподіл проявів магматизму в південній частині Атлантичного океану [16, 18 та ін.]: 1 — Серединно-Атлантичний хребет (центральна частина), 2 — магматичні породи і підняття, що включають їх. Ка — Камерунський хребет, Ки — Китовий хребет

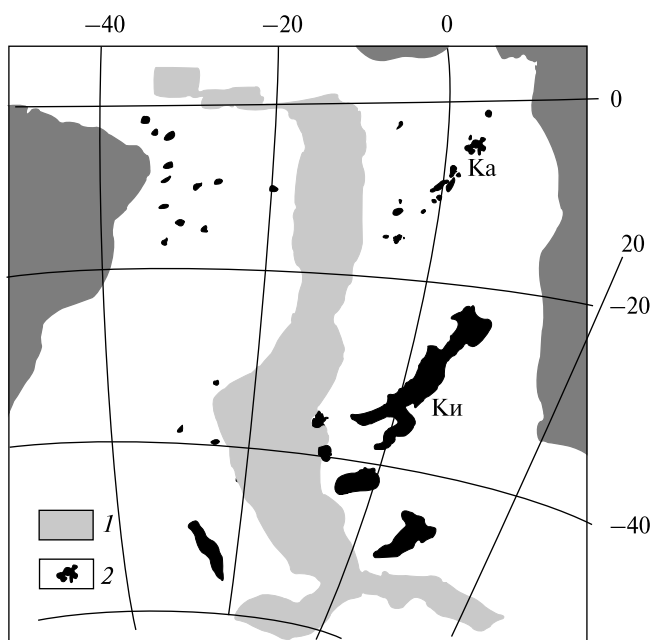
все, ні. Розподіл проявів магматизму (частково — неоген-четвертинного) в південній частині Атлантичного океану представлено на рис. 11.

Найбільш «масивні» з показаних на рис. 11 об'єктів (Китовий хребет та ін.) являють собою підняття значних фрагментів фундаменту, що включають і прояви молодих магматичних порід. Останні займають в межах піднять порівняно невеликі площі.

Наведений огляд наявної інформації про молодий магматизм на дні океанів не вичерпує проблеми, що розглядається. Але все ж можна вважати, що не виявлено аргументів на користь значного поширення молодого магматизму на флангових плато серединно-океанічних хребтів.

Висновки

У процесі проведеного дослідження швидкісних розрізів верхньої мантії серединно-океанічних хребтів авторам довелося зіткнутися з труднощами отримання необхідної інформації. Для СОХ в цілому (Східно-Тихоокеанського підняття і Серединно-Атлантичного хребта) даних виявилось цілком достатньо; були побудовані годографи, що практично не відрізняються від отриманих авторами кілька років тому з використанням іншого експериментального матеріалу. Цей результат демонструє достовірність створюваних швидкісних моделей верхньої мантії. Але при побудові аналогічних годографів для порівняно вузьких смуг флангових плато СОХ матеріалу виявилось вкрай мало. Розташування рідкісних островних сейсмостанцій поблизу хребтів і епіцентрів землетрусів приводило в більшості випадків до проходження сейсмічних хвиль в мантії під вершинною частиною хребтів або під улоговинами. Вдалося відібрати всього близько 50—60 точок на годографі для СОХ трьох океанів, причому більша їх частина зосереджена в невеликому діапазоні кутів відстаней — до 10°. Частина траєкторій хвиль використаних землетрусів проходила не під ФП. Проте, розподіл швидкості поздовжніх сейсмічних хвиль в мантії під плато встановлено, і він узгоджується з прогнозом по АПГ. Розподіл помітно відрізняється від розподілів під прилеглими регіонами — власне



СОХ і улоговинами. Можливо, що при накопиченні інформації про землетруси, що відбуваються під серединно-океанічними хребтами, результат вдасться отримати на більшій експериментальній базі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блюман Б.А. Выветривание базальтов и несогласия в коре океанов: возможные геодинамические следствия. *Региональная геология и металлогения*. 2008. 35. С. 72—86.
2. Гордиенко В.В. Тепловые процессы, геодинамика, месторождения. 2017. 284 с. URL: https://docs.wixstatic.com/ugd/6d9890_472adba2848246a9bfd80910e6848299.pdf?index=true
3. Гордиенко В.В. Глубина кровли переходной зоны между верхней и нижней мантией Земли. *Доповіді НАН України*. 2018. № 4. С. 60—65.
4. Гордиенко В.В. Земная кора океанов и полосовые аномалии магнитного поля. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2019. № 4. С. 3—35.
5. Гордиенко В.В., Гордиенко Л.Я. Скоростная модель верхней мантии под островными дугами и береговыми хребтами Тихого океана. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2015. № 3. С. 69—81.
6. Гордиенко В.В., Гордиенко Л.Я. Скоростные разрезы верхней мантии океанических котловин и глубоководных желобов. *Доповіді НАН України*. 2016. № 4. С. 62—68.
7. Кашинцев Г.Л. Геодинамика и магматизм начальных этапов образования Атлантики. *Геотектоника*. 2001. № 2. С. 64—77.
8. Кеннет Дж. Морская геология. Т. 1. Москва: Мир, 1987. 397 с.
9. Ломтев В.Л. Абиссальные холмы СЗ плиты Пацифики: особенности строения и относительный возраст. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2016. № 2. С. 57—75.
10. Низкоус И.В., Кисслинг Э., Санина И.А., Гонтовая Л.И. Скоростные свойства литосферы переходной зоны океан-континент в районе Камчатки по данным сейсмической томографии. *Физика Земли*. 2006. № 4. С. 18—29.
11. Павленкова Н.И., Погребницкий Ю.Е., Романюк Т.В. Сейсмо-плотностная модель коры и верхней мантии Южной Атлантики по Анголо-Бразильскому геотраверсу. *Физика Земли*. 1993. № 10. С. 27—38.
12. Погребницкий Ю.Е., Горячев Ю.В., Осипов В.А., Трухалев А.И. Строение океанической литосферы по результатам исследований на Анголо-Бразильском геотраверзе. *Советская геология*. 1990. № 12. С. 8—22.
13. Погребницкий Ю.Е., Трухалев А.П. Проблема формирования Срединно-Атлантического хребта в связи с составом и возрастом пород его метаморфического комплекса. Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. Москва: ОИФЗ РАН, 2002. С. 189—203.
14. Подгорных Л.В., Хуторской М.Д. Геотермическая асимметрия срединно-океанических хребтов. Тепловое поле Земли и методы его изучения. МГГРУ, 2000. С. 164—172.
15. Попова А.К. Тепловой поток на акваториях. Сравнительная тектоника континентов и океанов. Moscow: Interdepartmental Geophysical Committee, 1987. P. 34—42.
16. Пушаровский Ю.М. Основные черты тектоники Южной Атлантики. Москва: ГЕОС, 2002. 80 с.
17. Шулятин О.Г., Андреев А.И., Беляцкий Б.В., Трухалев А.И. Возраст и этапность формирования магматических пород Срединно-Атлантического хребта по геологическим и радиологическим данным. *Региональная геология и металлогения*. 2012. 50. С. 28—36.
18. Encyclopedia of Volcanoes. Ed. H. Sigurdsson. Academic press. San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Toronto. 2000. 1442 p.
19. International Seismological Centre (20XX). On-line Bulletin. URL: <https://doi.org/10.31905/D808B830>
20. Puga E., Fanning, C.; Nieto, J. D?az F. Recrystallization textures in zircon generated by ocean-floor and eclogite-facies metamorphism: a cathodoluminescence and U-Pb SHRIMP study, with constraints from REE elements. *The Canadian Mineralogist*. 2005. V. 43. P. 183—202.

Стаття надійшла 11.02.2020

V.V. Gordienko, Dr. Sci. (Geol.& Mineral.),
Professor, Head of Department
S.I. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine
32, Palladin ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: gordienkovadim39@gmail.com
ORCID 0000-0002-5619-0486
Scopus authorId=7102473958
L.Ya. Gordienko, Research Scientist
S.I. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine
32, Palladin ave., Kyiv, Ukraine, 03142

VELOCITY MODEL OF THE UPPER MANTLE OF THE FLANKING PLATEAUS OF MID-OCEANIC RIDGES

A new element is included in the study of velocity sections of the upper mantle of regions of continents, oceans, and transition zones with different endogenous regimes (according to the advection-polymorphic hypothesis — APH). This is the flanking plateaus (FP) of the mid-ocean ridges (MOR). It is assumed that these regions underwent the process of oceanization in the Mesozoic along with other parts of the oceans. In the Neogene MORs were formed. Significant parts of the basins were engulfed in modern activation, including magmatism. Between these parts of the oceans, relatively narrow strips (200—300 km wide) have survived, which some authors refer to as flanking plateaus. They are located at the edges of the MOR. FP did not experience young activation. This is indicated by the features of the bottom topography, magnetic, gravitational and thermal fields, and a velocity section of the upper horizons of the mantle.

An element of checking the nature of the FP can be the construction of a velocity section of the mantle beneath these regions. According to the APH, it should differ from the neighboring ones by the increased velocity of seismic waves in the upper about 200 km. The experimental data for such work turned out to be extremely small. It was possible to build only one travel-time, using data on the southern part of the Atlantic Ocean. Insignificant information was also attracted on the southern part of the East Pacific Rise and the Mid-Indian Ridge. The travel-time corresponds to the velocity section, which completely coincides with the forecast. The latter was calculated according to the heat and mass transfer scheme in the APH version and the thermal model of the mantle.

The velocity section of the FP mantle does not contain indications of a partial melting layer. Consequently, there should be no manifestations of young magmatism in FP. Verification showed that in most of the studied fragments of MOR this is true.

Keywords: *mid-ocean ridges, flanking plateaus, velocity sections of the upper mantle.*