

УДК 551.14550.831+550.832.12):551.462.62](1-923)

В. П. Усенко*, Р. Х. Греку

Інститут геологічних наук, Національна академія наук України,
вул. Олесь Гончара, 55Б, м. Київ, 01054, Україна

* Автор для кореспонденції: usenko.v@ukr.net

СУПЕРПЛЮМ АНТАРКТИЧНОГО СЕКТОРА ТИХОГО ОКЕАНУ: ПОЗИЦІЯ, ГЕНЕЗИС, ВІК

РЕФЕРАТ. Вивчення будови та геодинаміки Землі є одним з фундаментальних напрямків наук про Землю. Метою статті є надати відомості про пліум Росса, який був виявлений у південно-західній частині Тихого океану біля та під західною окраїною Антарктиди. Цей пліум не згадувався як суперпліум в сейсмічній томографічній літературі та в каталогах. Суперпліум Росса був виявлений методом гравіметричної томографії, розробленим в Інституті геологічних наук Національної академії наук України Р.Х. Греку. За даними гравітомографії у статті розглянуто складну геометрію суперпліума, свідчення поsegmentного обрушення палеотихоокеанського слєба (одного з них до глибини 4800 км) і його розташування у межах вже існуючого надглобального геотермального конвективного потоку під впливом якого до цього часу перебувають південно-західна частина Тихого океану, Західна Антарктида та західна частина Східної Антарктиди. Основні висновки включають наступе: поєднана дія двох факторів – наявність потужного геотермального потоку та у його межах проникнення слєба в глибини зовнішнього рідкого ядра призвели до утворення двох основних формацій суперпліума Росса. Вони утворилися в різних структурно-густинних умовах: південна формація (R) сформувалася біля та під обдукційною окраїною Антарктиди (з глибини нижньої мантії, 1300 км), північна (L) – утворилася під океанічною літосферою (з глибини зовнішнього ядра, 3500 км). Формування суперпліума Росса співпадає з подією 100 Ма глобальної перебудови літосферних структур, первинна причина якої не була з'ясована. Ми вважаємо тригером цієї події вибухове утворення суперпліума Росса. Наші результати були інтерпретовані, використовуючи доступні відкриті літературні дані про цей регіон і вони не суперечать існуючому розумінню його геодинамічної історії.

Ключові слова: суперпліум Росса, Антарктида, південно-західна частина Тихого океану, суперпліумова подія 100 Ма (млн років тому назад).

ВСТУП

Вивчення глибинних структур і геодинаміки Землі є одним з пріоритетних напрямків наук про Землю, котрі дозволяють прогнозувати розміщення корисних копалин та просторово-часовий розподіл екологічних ризиків. В аспекті розвитку цієї проблематики у 2009 році з ініціативи Інституту геологічних наук Національної академії наук України (ІГН НАНУ) та Державної установи Національний антарктичний науковий центр

Цитування: Усенко В. П., Греку Р. Х. Суперпліум Антарктичного сектора Тихого океану: позиція, генезис, вік. *Український антарктичний журнал*, 2019. № 1(18), с. 18–44.

Міністерства освіти і науки України (ДУ НАНЦ МОН України) був виданий «Атлас глибинної будови Антарктики за даними гравіметричної томографії» (Atlas, 2009; Атлас, 2009).

Автором методу є канд. фіз.-мат. наук, с. н.с., Р. Х. Греку*. Метод розглянуто та апробовано в багатьох роботах його автора (Греку, Бондар, 2003; Greku et al., 2006; Atlas, 2009).

* Автором всіх п'яти ГТ-моделей, використаних у статті, є канд. фіз.-мат. наук, с. н.с., Р. Х. Греку; їх базові зображення, крім одного, опубліковані в (Atlas, 2009). Геодинамічна інтерпретація ГТ-моделей в контексті опублікованих даних по досліджуваному регіону виконана канд. геол.-мін. наук, с. н.с. В. П. Усенко

Наведені в Атласі гравітомографічні моделі (ГТ-моделі) показали наявність в південно-західній частині Тихого океану, раніше не виявлений сейсмотомографією, суперплюм, конкретні відомості про який не зустрічались в опублікованих каталогах, схемах і розрізах плюмів і суперплюмів (Courtillet et al, 2008; Montelli et al., 2006). Непрямі свідчення на основі даних по геодинамічній еволюції регіону і геохімії магми (Storey, 1993; Weaver et al., 1994; Storey et al., 1999; Storey et al., 2013; Vaughan and Livermore, 2005) та сейсмотомографії (Hansen et al., 2014) вказують на його присутність. Про ймовірну наявність плюма нижньомантієвого, а можливо, й ядерного закладення в цій області, за даними гравіметрії, повідомляється в публікації Грушинский и др. (2004).

Завданням представленої нами роботи є: 1) охарактеризувати місцезнаходження виявленого суперплюма, його геометрію, глибину закладення і походження; 2) проінтерпретувати його вибуховий генезис та показати джерела живлення; 3) показати регіональний і частково, глобальний геодинамічний відгук на пов'язану з його народженням геодинамічну подію; 4) оцінити час його виникнення, який пов'язується з геодинамічною подією 100 Ма (Matthews et al., 2011; Vaughan and Livermore, 2005; та ін.); 5) вказати на глобальні екологічні ризики, які слід чекати від геотермального прогріву південно-західної Антарктики; 6) показати, що метод гравітомографії, який часто має самостійне значення, надає додаткову багатопланову інформацію про глибинний структурний інтер'єр і створює достатньо надійну основу для геодинамічних висновків.

Суперплюми і суперплюмова подія

Суперплюми. З 50 великих плюмів відомі 5—8, які піднімаються від границі ядро-мантія (з глибини 2900 км) (Courtillet et al, 2003; Montelli et al., 2006). Два з них, південно-центрального Тихоокеанський і Африканський визнані суперплюмами. Мантієвий плюм може досягти величезних розмірів, коли голова плюму розтікається під подошвою літосфери на глибині 200 км і досягає

діаметра 1500—3000 км (Condie, 2001; Condie, 2005). Суперплюм породжує дочірні плюми різних типів (Courtillet et al, 2003). У своєму огляді про плюми і гарячі точки М. Чондхурі і М. Немчок (Choudhuri and Nemčok, 2017), на основі аналізу великого опублікованого матеріалу, розглядають характерні риси плюмів різних типів в зв'язку з особливостями їх утворення. Відзначимо лише деякі з цих особливостей, які можуть знадобитися для подальших інтерпретацій. До таких відносяться: прорив плюмів транзитної зони (глибина 670—410 км, проміжний шар між нижньою і літосферною мантією), утворення бічних каналів, які виходять з материнського тіла суперплюма, поведінку гарячих точок і треків і / або їх можливе руйнування при русі плит.

Суперплюмова подія в своїй активній фазі розвитку є короткоживучою (Abbot and Isley, 2002), обмежують тривалість активної фази («епохи») суперплюма часом від його народження до прояву на поверхні у вигляді виливів базальтів, скупчення даек, шаруватих інтрузій і порід з високим вмістом магнію. Відзначено, що понад дві третини епох суперплюма триває менше 8 мільйонів років і немає суттєвої різниці між їх середньою тривалістю в археї (13 ± 7 млн років) і фанерозої (12 ± 3 млн років).

Активізація суперплюма завжди супроводжується комплексом пов'язаних з ним одночасних або причинно-наслідкових подій, які можуть відбуватися упродовж наступних десятиліть мільйонів років (Larson, 1991a; Condie et al., 2001). Назвемо їх: 1) глобальне поширення деформацій корових, літосферних і нижньомантієвих структур; 2) формування або активізація вулканічних провінцій, в тому числі великих магматичних провінцій (Large Igneous Province (LIP)); 3) формування океанічної кори; 4) перерви в прояві магнітних інверсій в десятки млн років (під час крейдяного періоду вони не спостерігаються протягом 40 млн років (122-82 Ma)); 5) підвищення світових температур за рахунок викиду CO_2 в атмосферу; 6) підвищення рівня океану, частково також у зв'язку з підвищенням температури, що плавить полярні крижані шапки; 7) збільшення

утворення чорних сланців у зв'язку зі збільшенням продуктивності органічної речовини (ОР) і поганою вентиляцією водної товщі океанського (морського) басейну. Відбуваються також катастрофічні, масові, вимирання біоти, причиною і хронологічно пов'язані з різкими змінами довкілля.

Особливість розташування суперплюма Росса

Два загальноновизнані суперплюми, південно-центральний Тихоокеанський і Африканський розташовані, в даний час, на екваторі під океанською і під континентальною літосферою (Larson, 1991a; Suzuki et al., 2001; Courtillot et al., 2008; Montelli et al., 2006; Кузьмин, Ярмолюк, 2011).

Суперплюм Росса, що розглядається нами, розташований за даними ГТ-моделей, в даний час, в південно-західному антарктичному секторі Тихого океану, поблизу і під пасивною окраїною Антарктиди, а раніше, 120—130 Ма, судячи з непрямих даних (Finn et al., 2005; Courtillot et al., 2008; та ін.) — поблизу і під субдукційною окраїною антарктичного сектора Східної Гондвани. Така геоструктурна позиція при вибуховому народженні суперплюма вплинула на глобальні геодинамічні процеси особливостями відгуку на дану суперплюмову подію.

МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ

Робота по темі статті включала три компоненти: 1) обмежений ряд гравітомографічних моделей, але достатній для характеристики об'єкта досліджень; 2) опубліковані дані багатьох дослідників по глибинній будові і геодинаміці Антарктичного регіону в мезо-кайнозої, а також в цілому по геодинамічній тематиці; і 3) третій, методологічний компонент цього дослідження, що стосується інтерпретаційної частини дослідження, базувався на перших двох.

Метод-ГТ заснований на використанні гармонійних густинних аномалій, розрахованих через сферичні гармоніки глобальної моделі геоїда EGM96. Метод дозволяє визначати гус-

тинні аномалії і глибини збурюючих мас щодо висот геоїда та проводити візуалізацію густинних неоднорідностей за допомогою ізоліній аномальної густини в полі 2D вертикальних і латеральних розрізів, забезпечуючи тим самим томографічне сприйняття глибинних структур (Greku et al., 2006; Греку Р., Греку Т., 2009; Atlas, 2009; Атлас, 2009). При цьому темні тона показують області з менш густинними структурами (розігрітими), світлі — області зі структурами більшої густини (холодними). Результатом стали ГТ-моделі по Антарктичному регіону, опубліковані переважно в Atlas (2009). Відзначимо три важливі риси методу гравіметричної томографії, якими характеризуються візуалізовані моделі і які сприяють продуктивній інтерпретації останніх: 1) одна з важливих можливостей методу, обумовлена тим, що ізолінії аномальної густини дозволяють виділяти густинні неоднорідності з різними типами границь (від різких, градієнтних, до нечітких — дифузних) і тим самим з досить високою деталістністю розкривають глибинні структурні інтер'єри досліджуваних регіонів; 2) розрізи мають глобальну масштабність (вертикальну — по глибині 5300 км, а по протяжності — необмежену), що дає можливість побачити в полі розрізу не тільки структурну картину земних надр і послідовність геодинамічної взаємодії глибинних густинних утворень (структур) в локальних, в регіональних і глобальних масштабах, а й проінтерпретувати еволюцію їх формування; 3) метод не вимагає процедури різноваріантної глибинної та іміджевої підгонки глибинних структурних утворень, що характерно для сейсмотомографії.

Використані літературні джерела по досліджуваному регіону і проблематиці питань, що виникали в процесі інтерпретацій геодинамічних сюжетів, пов'язаних з наявністю суперплюма в антарктичному секторі Тихого океану, наведені в списку літератури.

Інтерпретаційна частина, яка складає зміст дослідження, виконана В. П. Усенко і винесена на обговорення спеціалістів.

РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Геометрія раніше невідомого суперплюма Росса і механізм його утворення

Суперплюм Росса охарактеризований трьома розрізами, що відображають формування його різних частин в різних структурних ситуаціях. На розрізах 1-1' і 2-2' показано формування суперплюма в при- і підконтинентальній ситуаціях. Розріз 3-3', що простягається по спрединговому шву CR-EAR-PAR-AAR-SEIR, характеризує утворення суперплюма в ситуації під океанською літосферою (*Скорочення*: CR (Chilean ridge) – Чилійський хребет, EAR (Eastern Pacific Rise) – Східно-Антарктичне підняття, PAR (Pacific-Antarctic Ridge) – Тихоокеансько-Антарктичний хребет, AAR (Australian-Antarctic ridge) – Австралійсько-Антарктичний хребет, SEIR (Southeast Indian Ridge) – Південно-Східний Індійський хребет). Роз-

ташування виходу проєкцій осей основного тіла суперплюма на поверхню на розрізах 1-1' і 3-3' позначені відповідно буквами R і L (рис. 1).

Характеристика розрізів

Нижче наводимо опис представлених розрізів, підкреслюючи їх геодинамічний зміст. На наведених гравітомографічних моделях видно, що суперплюм знаходиться у апвелінговому полі потужного геотермального потоку, що піднімається від ядра Землі (рис. 2 і 4). Досліджуваний нами суперплюм має складну форму, контрольовану, мабуть, в першу чергу, пластичними властивостями вміщуючого мантійного середовища і крихко-пластичними властивостями літосферного, які неоднорідні як радіально, так і латерально в різних напрямках від епіцентрів осей основних тіл R і L суперплюма Росса і від їх базової позначки до поверхні. Глибинні потоки суперплюмової магми, ймовір-

Рис. 1. Схема ГТ-розрізів, які перетинають суперплюм Росса. Картографічною основою є латеральна ГТ-модель розподілу густинних неоднорідностей на глибині 94 км (Греку Р.Х., Греку Т.Р., 2009). Розміщена в океані структура суперплюма містить дві основні формації R і L. Відстань між епіцентрами формацій R і L (білі зірки) суперплюма Росса становить ~600 км. Розріз 1-1' (30°S 190°E-101-44°E 68°S) показує суперплюмову формацію (R), що міститься під океанською літосферою та під Антарктичною окраїною і континентом. На розрізі 2-2' (60°S 90°W-101-90°E 60°S), що перетинає Антарктиду з заходу на схід, показано розташування суперплюма Росса під континентальною Антарктидою та під океанською літосферою відповідно. Розріз 3-3' простягається по лінії середнього хребта від Південної Америки до Австралії і перетинає формацію L суперплюма. Формація L асоціюється з «гарячими точками» (білі оконтурені жирні крапки) – Чилійською (Chilean hotspot (CH)) та Луїсвілл (Luisvill hotspot (LH)) і з «холодною точкою» (Gurnis and Müller, 2003) Австралійсько-Антарктичного Неузгодження (Australian-Antarctic Discordance (AAD))

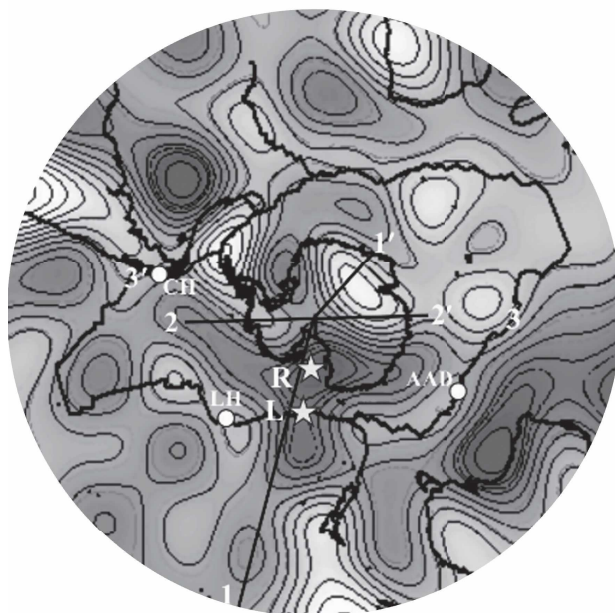


Fig. 1. The scheme of the Ross superplume GT-cross sections. The base map is the lateral GT-model of inhomogeneity of the density distribution at a depth of 94 km (Greku R.Kh., Greku T.R., 2009). The ocean superplume structure consists of two main structural parts (R and L white stars). The distance between epicenters of R and L parts is ~600 km. Section 1-1' (30°S 190°E-101-44°E 68°S) shows the superplume part (R) located under Antarctic margin and under the continent. Section 2-2' (60°S 90°W-101-90°E 60°S) crossing Antarctica from west to east shows the location of the Ross superplume under the continental Antarctica and below its western margin. Section 3-3' extends along the median ridge from the South America to Australia and crosses L part of superplume. L formation is associated with Chile (CH) and Louisville (LH) hotspots (white outlined bold points) and with "coldspot" (Gurnis and Müller, 2003) of the Australia-Antarctic Discordance (AAD)

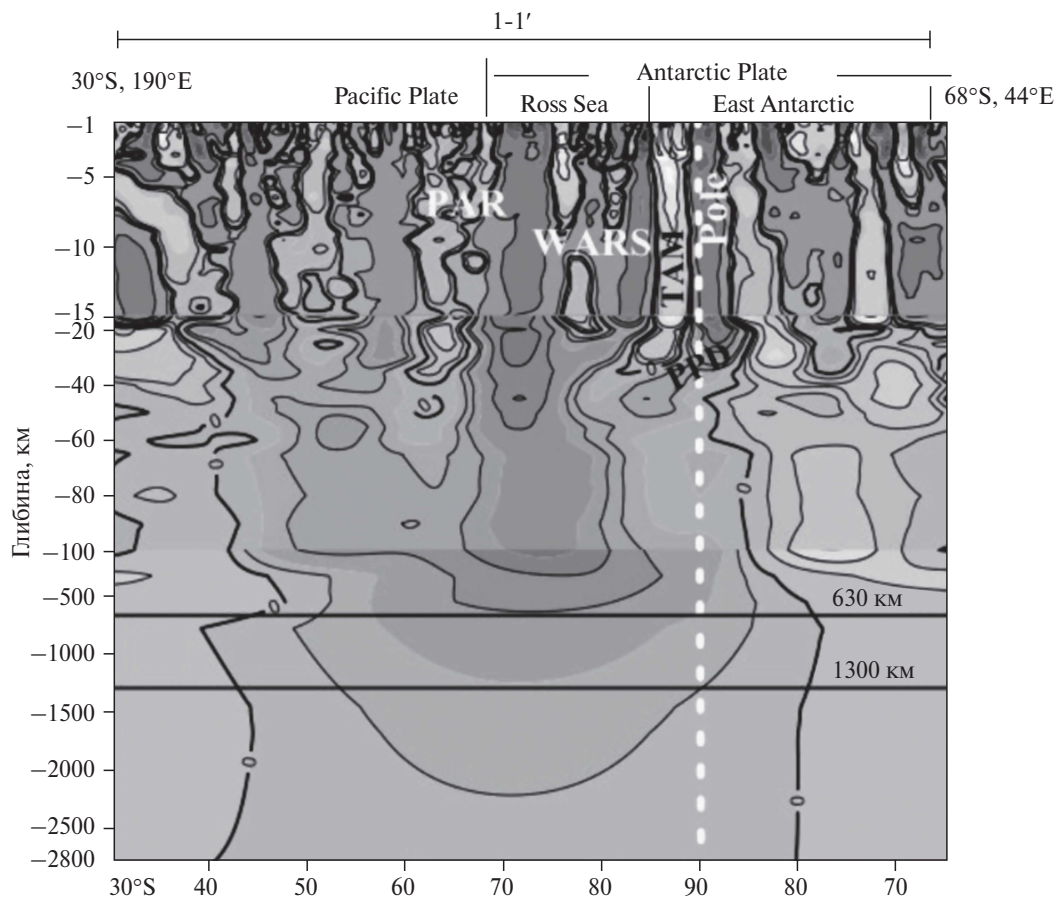


Рис. 2. Розріз 30°S 190°E-Pol-44°E 68°S по лінії 1-1'. Формация (R) суперплюма Росса утворилася біля і під країною Антарктиди, у напівзакритому структурному інтер'єрі, що спричинило його величезний тектоніко-магматичний вплив на континент. Глибина залягання основного тіла цієї частини суперплюма становить приблизно 1250–1300 км

Fig. 2. Section 30°S 190°E-Pol-44°E 68°S along the line 1-1'. Part (R) of the Ross superplume formed near and under the margin of Antarctica, in a semi-closed structural interior that caused huge tectonic-magmatic effect on the continent. Occurrence depth of the main body of this superplume part is ~1250–1300 km

но, у великій мірі, судячи з тривалості дії гарячої точки LH ~ 90 Ma, що буде розглянуто нижче, також живлять спредингову зону PAR (рис. 4).

Розріз 1-1' (30°S 190°E-Pol-44°E 68°S)

Розріз має глибину 2900 км і простягається на 9000 км фактично з півночі на південь, перетинає східні закінчення підводних структур Нової Зеландії (New Zealand (NZ)) (рис. 2).

Центральною, найбільшою структурою в полі розрізу є основне тіло R суперплюма Росса, вісь якого проектується на поверхню дна океану в точці з координатами 71°S 190°E. Основне тіло супер-

плюма Росса на цьому розрізі має кілька великих відгалужень, що йдуть як в межі континенту (на південь – до Південного полюса), так і в океан (на північ – до 30°S). Таким чином, суперплюмові маси поширені з півдня на північ на відстань, приблизно, в 6600 км. Звертає увагу, що суперплюм і всі його відгалуження аж до Південного полюса перебувають в області геотермального апвеллінгового потоку, що охоплює величезну територію.

Коментарі до розрізу 1-1'

1) У південному напрямку від суперплюма відходять дві гілки. Перша, відгалужується на гли-

бині ~60 км і, огинаючи коріння Трансантарктичних гір (Transantarctic mountains (TAM)), піднімається до Південного полюса. Друга з глибини ~30 км піднімається до Західно-Антарктичної рифтової системи (West Antarctic Rift System (WARS)). Ця гілка відокремлена від основного тіла суперплюма холоднішою структурою, яка маркує край шельфу моря Росса. Глибина кореня цього крайового утворення ~23 км і фактично збігається з глибиною кореня Землі Мері Берд (Mary Bird Land (MBL)) – 25 км, яка визначає глибину подошви WARS (Winberry and Anandkrishnan, 2004).

Потужна гілка суперплюма, піднімається до подошви WARS в ~1200 км на південь від осі суперплюма, інша гілка, огинаючи коріння TAM, піднімається до Південного полюса ще на 1000 км південніше (права частина поля розрізу). Магнітотелуричні дослідження, проведені (Wannamaker et al., 2004), показали теплову активність в цьому районі. Автори дослідження припускають, що генерація теплової активності може бути викликана високотемпературними флюїдами або розплавами і пов'язана з динамікою поділу плюму в глибокій літосфері. Вони роблять висновок про наявність сателіта плюму Західної Антарктиди в районі Південного полюса (South Pole, Pol).

Основна структура суперплюма Росса піднімається до поверхні океану в межах моря Росса, в точці ~71°S, 190°W, між окраїною структури шельфу і PAR. В полі розрізу видима (окреслена ізолінією аномальної густини) структура суперплюма зароджується в межах глибинного геотермального потоку трохи нижче прориву суперплюмом транзитної зони (670—410 км), що ймовірно, слід пов'язувати з різко розпочатим ефектом декомпенсації.

Потоки суперплюмової магми просуваються в область Тихого океану на північ від осі суперплюма на ~4600 км (ліва частина поля розрізу). Від основного тіла суперплюма йде і піднірює під корінь PAR потужний потік магми товщиною ~25 км (глибина 75—100 км). Він просувається до 30°S, піднімаючись до поверхні океану і заповнюючи перевернуту «дренажну систему» рельєфу подошви океанської кори, де виступаючими

структурами є корені новозеландського підняття Чатем, спредингового PAR, вулканічних споруд хребта Луїсвілл (Louisville Ridge (LR)).

2) Наведена на рис. 2 модель відповідає на два важливі питання, що пов'язані з розширенням південно-західної частини Тихого океану (Cande et al., 1995) і з формуванням в цій же частині океану дифузної лужної магматичної провінції (Diffuse alkaline magmatic province (DAMP)) (Finn et al., 2005), однозначно вказуючи на їх зв'язок з суперплюмом Росса.

К.С. Канде і співавтори (Cande et al., 1995) у своїй роботі приводять тектонічну карту Тихоокеансько-Антарктичного хребта, на якій показана система трансформних розломів, що співвіднесена з часовим ходом розширення південно-західної частини Тихого океану в кайнозої. За даними магнітних спостережень область розширення південно-західної частини Тихого океану між Антарктидою і Австралією К.С. Канде і співавтори (1995) обмежують по периметру додатково трансформними розломами Емералд (Emerald Fracture Zone (EmFZ)) і Елтанін (Eltanin Fracture Zone (EFZ)), підкреслюючи, що відмінності в швидкостях і напрямках спрединга були набагато більші на південно-західному кінці хребта, ніж на північно-східному.

Відзначимо, що за даними тектонічної карти розломи в ході розширення сегментують правосторонніми зрушеннями спрединговий хребет і показують неоднорідну часову стадійність зміщення сегментів. Ця особливість може бути пов'язана як із загальною системою взаємодії ланцюга літосферних плит, так в даному випадку, у великій мірі і з регіональною. В останній можна спостерігати два, одночасно діючі фактори, щодо виникнення системи правосторонніх трансформних розломів у спрединговому PAR: 1) зміна поля напружень в регіоні, жорстко структурно обмеженому розломами по периметру (South Pole — Peter I Island — De Gerlache Seamounts (Pol-PI-GSM) — лінеаментом Eltanin Fracture Zone — Louisville Ridge (EFZ-LR) — шовом жолоба-розлома Karmadek-Tonga Trench — New Zealand — Macquarie ridge

(КТТ-NZ-MR) – трансформним розломом Emerald Fracture Zone (EmFZ) – країною Antarctica (ANT), і 2) одночасним нагнітанням магми суперплюма Росса в астеносферу цього регіону (рис. 2), що призводило до його розширення. (Скорочена назв структур: PI – острів Петра I, GSM – підводні гори де Жерлаш, КТТ – жолоб Кармадек-Тонга, MR – хребет Маккуорі, ANT – Антарктида).

С.А. Фінн і співавтори (Finn et al., 2005) виділяють в південно-західній частині Тихого океану кайнозойську DAMP, як мантійну область, що простягається також, як і область розширення дна океану, від Західно-Антарктичної до Австралійської тихоокеанської країни. Її походження вони не пов'язують ні з рифтом, ні з плюмом. Ці автори стверджують, що ключовим фактором, який породжує кайнозойський магматизм, є поєднання метасоматизованої літосфери і низькошвидкісної зони (мантії незначно підвищених температур), яка лежить в основі літосфери між глибинами ~60 і ~200 км. Характерними особливостями цієї області є довговічність (~50 млн років), широке регіональне поширення, біомодальність, що характерно для глибинних мантійних плюмів, але малі обсяги магми і невисока температура.

Аналіз рис. 2 підказує, що дана низькошвидкісна зона обумовлена нагнітанням в астеносферну мантію південно-західної частини Тихого океану магми суперплюма Росса. Цей процес активно почався після закінчення тривалого активного дифузно-рифтогенного до 1200 км розширення WARS (105-83 Ma), який помітно припинився після зіткнення плити Фенікс з країною Антарктиди в 83 Ma, що призвело (на думку авторів) також і до перескоку розвантаження суперплюмової магми в утворений рифтогенний (потім спрединговий) шов між MBL і NZ (Luyendyk et al., 2001) та в астеносферу океану. Ми вважаємо, що саме ця подія (перескок зони розвантаження магми продуктивної гілки суперплюма Росса) стала основною причиною розширення південно-західної частини Тихого океану між ANT і NZ (Cande et al., 1995) до ~3000 км з

~83 Ma, а по треку LH до ~4300 км з ~90 Ma (Expedition 330 Scientists, 2011; та ін.).

Одночасно в цих же межах сталося формування DAMP (Finn et al., 2005). Мантійний потік, що рухався від суперплюма Росса в бік Тихого океану на глибині 120-75 км (як ілюструє рис. 2, розріз 1-1') створив у міксі з астеносферою бімодальну мантію незначно підвищених температур, сформував шар метасоматизованої літосфери, а також призвів до магматизму, який маркує область кайнозойської лужної магматичної провінції.

Щодо вказівки (Finn et al., 2003) про малі обсяги магми, розміщеної в DAMP, які недостатні для суперплюма, відзначимо, що її колосальні маси в даний час визначені гравітографією під Західною Антарктидою, під західною частиною Східної Антарктиди (рис. 3, розріз 2-2') і під тихоокеанською країною Західної Антарктиди (Гожик та ін., 2019, рис. 10).

Розріз 2-2' (60°S 90°W-Pol-90°E 60°S)

ГТ-розріз 2-2' представлений на рис. 3.

Розріз 3-3' (від Південної Америки до Індійського океану)

Розріз 3-3' проходить по границі між Антарктичною плитою та плитами Наска, Тихоокеанською та Австралійською. Інтерпретація цього розрізу з урахуванням літературних даних (Vaughan and Livermore, 2005) веде нас до висновку про послідовне посегментне обрушення палеотихоокеанського слєба в надра Землі. Перший австралійський сегмент (Australian Paleo-Pacific segment (AUS)) до глибини 2500 км шару D'' нижньої мантії і другий південно-американський або східний сегмент (South American segment або East segment (SA)) до глибини 4800 км в межі зовнішнього ядра (рис. 4). Слєби, можливо, порівняно “легко прослизнули” в надра Землі по бічній ослабленій поверхні колони термопотока, породженною міжполюсною конвекцією, на яку вказує Гончаров (2011), Goncharov et al. (2012). Припускаємо, що в межах глибин 4800–2500 км, цей потік являє собою магматичний резервуар. Слєби, уві-

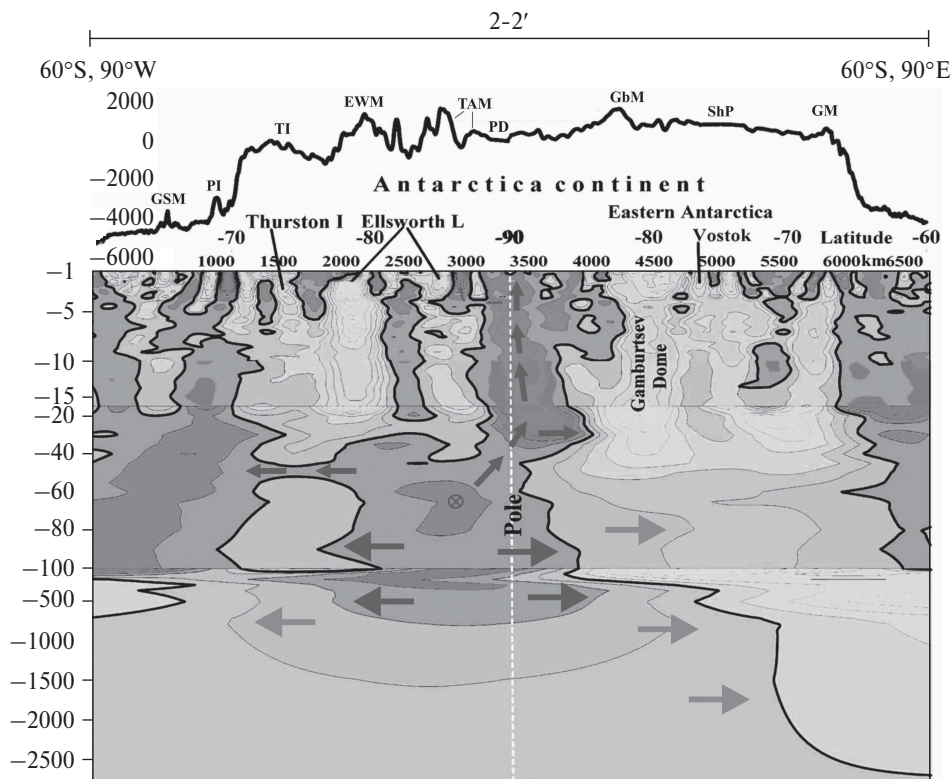


Рис. 3. (ГТ-розріз 2-2'). Перетинає Західну і Східну Антарктиду по лінії 90°W-Pol-90°E. Глибина 2800 км, довжина ~6500 км. Верхня крива – рельєф поверхні за профілем розрізу з реперними структурами (з заходу на схід): підводні гори де Жерлаш (De Gerlache Seamounts (GSM)), край донного фундаменту острова Петра I (Peter I Island (PI)), острів Терстон (Thurston Island (TI)), гори Еллсворт-Уйтмор (Ellsworth-Whitmore Mountains (EWM)), Трансантарктичні гори (Transantarctic Mountains (TAM)), Полюсна депресія (South Pole Depression (PD)), гори Гамбурцева (Gamburtsev Mountains (GbM)), рівнина Шмідта (Schmidt Plain (ShP)), гори Гауса (Gaussberg (or Mount Gauss) (GM)). Умовні позначення в полі розрізу (зверху—вниз): верхня частина представлена структурами Західно-Антарктичної плити (глибина підшови ~45 км) і Східно-Антарктичної плити (глибина підшови ~55 км). Товщина кори TAM і EWM, визначена сейсмічними дослідженнями, становить 38 і 37 км (Ramirez et al. 2017), значно менше, ніж товщина кори гір Гамбурцева, яка на даному розрізі становить мінімум 50 км. Величезні об'єми суперплюмових мас Росса, добре окреслені ізолініями аномальної густини, розміщуються в межах глибин від підшови Західно-Антарктичної платформи і до 2500 км. Вони просунуті сюди зі сторони WARS, із заходу, і далі, на північний схід під Antarctic Peninsula (AP) (Гожик та ін., 2019, рис. 10). Найбільш гаряча частина суперплюма розташована під коренем TAM у межах глибин від ~40 до 600 км. Темні і бліді стрілки на розрізі показують геодинамічний ефект розсування суперплюмом древніх гондванських густих мантієвих мас, що сформувалися під Антарктичним континентом. Темні стрілки показують рух суперплюмової магми в мантії та літосфері. Від цієї частини суперплюмового тіла R, що розташоване під підшовою Західно-Антарктичної плити, у межах глибин 46–52 км проходить на захід канал розвантаження суперплюмової магми в астеносферу моря Беллінгаузена. Ймовірно, він маркує літосферний трансформний розлом простягання захід—схід, який без видимого зміщення розсікає континентальну літосферу і продовжується в океані. Його продовження в океані позначають міоценові магматичні структури PI (13 Ma) і GSM (20–23 Ma). Остання з них лежить у вузлі стику континентального трансформного літосферного розлому з південно-східним кінцем океанського трансформного розлому Елтанін (EFZ). Вік магматичних структур наведено за даними вказаними на геодинамічній схемі південно-східної частини Тихого океану (Тетерин, 2008, рис. 13). Вважаємо, що названі магматичні структури пов'язані з підконтинентальним джерелом суперплюма (рис. 3). Вони є на ~70–80 млн років більш пізніми його становлення. На розрізі також видно, що густинна гондванська мантія Східної Антарктиди посунута суперплюмом на захід (за нашими розрахунками більш, ніж на 1000 км)

Fig. 3. (GT-section 2-2') crosses Western and Eastern parts of Antarctica along 90°W-Pol-90°E. Depth is 2800 km, length is ~6500 km. The upper curve is the relief of the surface with reference structures along the section (west to east): GSM (De Gerlache Seamounts), PI (bedrock of Peter I Island), TI (Thurston Island), EWM (Ellsworth-Whitmore Mountains), TAM (Transantarctic Mountains), PD (Pole Depression), GbM (Gamburtsev Mountains), ShP (Schmidt Plain), GM (Gauss Mountains) and East Antarctic Plate (depth of the basement is ~55 km). The thickness of the TAM crust and Ellsworth Mountains (EWM) is 38 and 37 km according to seismic studies (Ramirez et al. 2017). It is much less than the thickness of the crust of the Hamburgtsev Mountains (50 km at this section). Huge masses of Ross superplume with its bag-like shape are well outlined by isolines of anomalous density and located at the depths interval from the basement of the West Antarctic Platform and up to 2500 km. They were pushed here from the west WARS side, and then to the north-east beneath the Antarctic Peninsula (AP) (in Gozhik et al., 2019, Fig. 10)). The hottest part of the superplume is located below the root of the Transantarctic Mountains at the depth of ~40–600 km. Dark and pale arrows show the geodynamic effect generated by superplume wich manifests itself as motion of ancient Gondwana dense mantle masses formed beneath the Antarctic continent. Dark arrows indicate the movement of superplume magma in the mantle and lithosphere. Superplume magma flow passes from the R superplume part under the basement of the West Antarctic plate at the depths of 46–52 km and discharges into the asthenosphere of the Bellingshausen Sea. Most likely, this magma flow marks the transform fault that cuts continental lithosphere from west to east without any displacement and go on to the ocean. Its continuation in the ocean is indicated by the Miocene magmatic structures, such as Peter I Island (13 Ma) and GSM (20–23 Ma). The last one is located at the junction, in which the continental lithospheric transform fault meets with the southeastern end of the Eltanin ocean transform fault (EFZ). The age of magmatic structures is according to data from geodynamic scheme of the southeastern Pacific (Teterin, 2008, Fig. 13). We think that these magmatic structures are related to a subcontinental superplume source (Fig. 3); they formed ~70–80 million years later than the superplume. One can see at the section that the dense of Gondwana mantle of the East Antarctica was moved by superplume to the west according to our estimates by our calculations more than 1000 km west

йшли в крайові частини резервуара, позначивши себе крайовими сплесками (рис. 4).

Акцентуються також особливості поширення збуреної активної ядерно-нижньомантійної магми в навколишній геосферний простір. На розрізі показана глибинна структура океанської формації (L) суперплюма Росса, а також його бічні гілки, які на океанському дні відкриваються гарячими точками СН і ЛН. Точка (область) ААД термоапвеллінгом фактично не проявляється (Gurnis and Müller, 2003). Відзначимо, що всі ці точки розмішені в областях угруповань кулісноподібних літосферних розломів, по-суті, пул-апартових вікон, розташованих у зонах стику сегментів спредингових хребтів від Південної Америки до Індійського океану, що вказує на сприятливу роль цих розломів в розміщенні виходів каналізування глибинної суперплюмової речовини.

Вісь основного тіла суперплюма Росса на цьому розрізі проектується на поверхню дна океана в точці з координатами 66°S 180°. Основне тіло суперплюма знаходиться в полі дії південнопо-

люсного геотермального апвеллінгу. Вершина суперплюма піднімається до спредингового шву PAR, однак, не зруйнувавши кору океану, не доходить до поверхні дна ~7 км. Причиною цього міг стати також скид тиску магми в основному каналі суперплюма у зв'язку з перешкодою у вигляді густинної латеральної границі на глибині 300 км і відтоком магми у канали до гарячих точок СН, ЛН і ААД (рис. 4).

Гарячі точки суперплюма Росса на розрізі 3-3'

1) Область Чилійської гарячої точки (СН). За даними гравітомографії (рис. 4) по каналу, який відгалужується від основного тіла суперплюма в інтервалі глибин 500–700 км, піднімається потік речовини. Він виглядає достатньо активним і розвантажується по всіх пул-апартових структурах Чилійського спредингового хребта з найбільшою його концентрацією поблизу Чилійського жолоба. На сході Чилійський хребет взаємодіє з Чилійським жолобом і західним закінченням розлому Шеклтон. Видається, що тут могло роз-

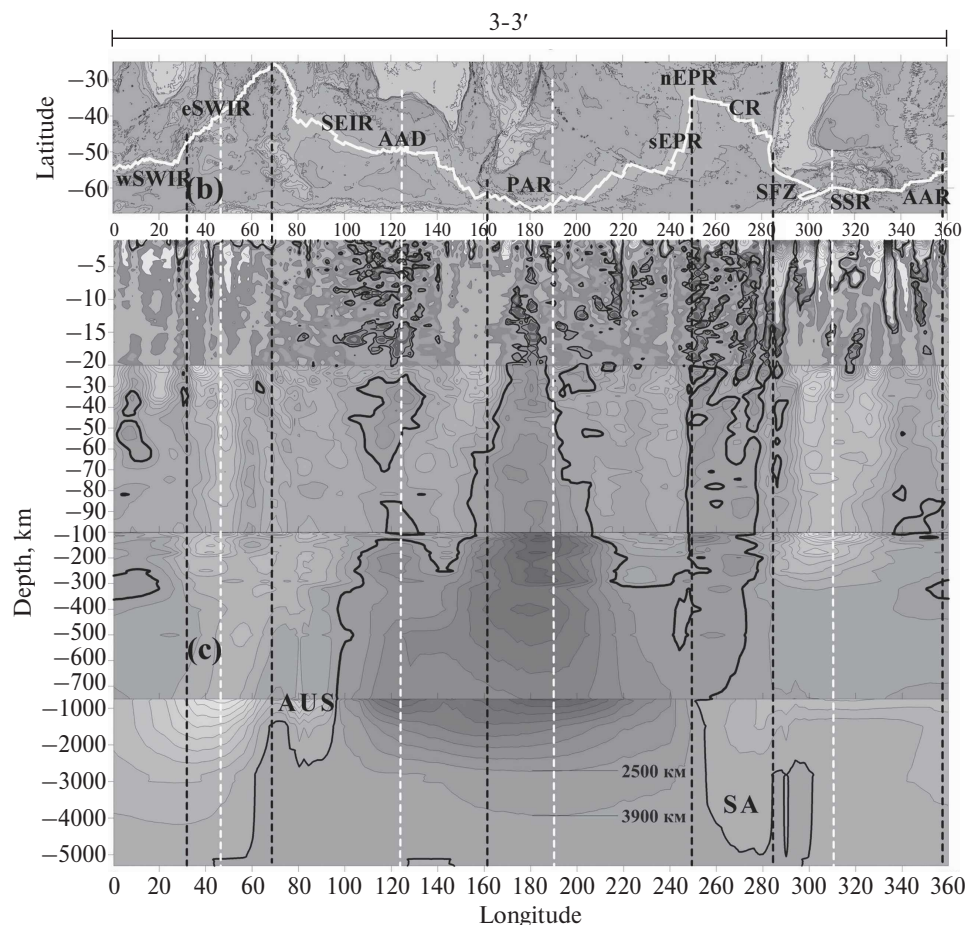


Рис. 4. (ГТ-розріз 3—3' до глибини 5300 км). Формация (L) суперплюма Росса, сформувалася під океанської літосферою. Обрушення південно-американського або східного сегмента (South American segment (SA)) палеотихоокеанського слєба і його проникнення у зовнішнє ядро по ослабленій субдукційній зоні біля Південної Америки, а далі до глибини 4800 км по бічній поверхні розігрітої термотоком геосферної колони, призвело до гідродинамічного удару і до вибухового закладення формации (L) суперплюма Росса на глибині ~3500 км у межах зовнішнього ядра. Гідродинамічний удар також подіяв і на насичену флюїдом найбільш гарячу R-частину резервуара, розташовану в епіцентрі термопоточка і впритул до країни Антарктичного кратона. Це вибухово активувало в межах нижньої мантії на глибині ~1250—1300 км формацию (R) суперплюма Росса (рис. 2)

Fig. 4. (GT-section 3-3'; up to the depth of 5300 km). Ross superplume part (L) formed under the oceanic lithosphere. The collapse of the SA-segment of the Pale Pacific slab and its penetration into the outer core along the weakened subduction zone near the South America and then along the lateral surface of the heated geosphere column up to a depth of 4800 km, led to a hydrodynamic shock and to the explosive formation of this part (L) of the Ross superplume at a depth of ~3500 km within the outer core. The hottest fluid-rich R-part located in the epicenter of the heat flow and close to the margin of the Antarctic Craton was also affected by this hydrodynamic shock. This led to the explosive activation of Ross superplume (R) part at a depth of ~1250—1300 km in lower mantle (Fig. 2)

міститись поле виходів глибинної речовини, що утворює собою гарячу точку СН. Її геометрія не була строго визначена (Breitsprecher, Thorkelson 2009). Але пізніше за сейсмічними даними

на глибині 100 км виявлено заповнений астеносферою проміжок між рухомих краєм плити Наска і переднім краєм Антарктичної плити. Він витягнутий з заходу на схід по 46°40'S між 72—

73°W (Russo et al., 2010). Це утворення ми сприймаємо як Чилійську гарячу точку.

2) Сучасна гаряча точка Луїсвілл (LH). Знаходиться на перетині зони сполучення EAR і PAR крупним трансформним розломом Елтанін. За даними гравітомографічної моделі (рис. 4), її координати в цій позиції $\sim 58^{\circ}\text{S } 140^{\circ}\text{W}$ (Atlas, 2009). Вони незначно відрізняються від координат $54^{\circ}\text{S } 141^{\circ}\text{W}$ Montelli et al. (2006), але помітно — від координат $50^{\circ}26'\text{S } 139^{\circ}09'\text{W}$ (Koppers, 2004) для її останньої активності ($1,11 \pm 0,04$ Ма), що вимагає пояснення. Ми припускаємо наступне: точка, фіксована Montelli et al. (2006) є однією з розташованих на треку гір хребта Луїсвілл, а положення точки (Koppers, 2004), ймовірно, слід пояснювати молодим імпульсом надходження магми в літосферу моря Амундсена по каналу літосферного розлому на захід від мас суперплюма Росса, які розміщені під Західною Антарктидою (рис. 3).

З усіх гарячих точок системи EAR-PAR-SEIR точка LH розташована найближче до апікальної частини L суперплюма Росса, її канал найбільш вузький, але має найбільш концентрований вигляд. Він відгалужується від основного тіла суперплюма на глибині 35 км. Підкреслимо, що гравітомографічна модель, побудована по простяганню спредингового шву PAR, вказує на безсумнівний зв'язок LH з суперплюмом Росса (рис. 4). Цей зв'язок може свідчити також про початковий час появи LH, синхронний з часом народження суперплюма L-Росса.

3) Область Австралійсько-Антарктичного Неузгодження (AAD). Варто окремо зупинитися на області AAD, де до поверхні дна піднімається слабкий потік суперплюмової речовини. Її канал відгалужується від основного тіла суперплюма на глибині 100 км. Цей канал не має чітких границь, він простежується по сліду переривчастих спливаючих бульбашок флюїду. На гравітомографічній моделі ясно показана структура розвантаження речовини, що продукується бічною гілкою суперплюма Росса (рис. 4). Центр кільцевої структури розвантаження має координати $49^{\circ}\text{S } 122^{\circ}\text{E}$ (Atlas, 2009).

Gurnis and Müller (2003) відзначають, що холодне «загадкове AAD», за даними сейсмотомо-

графії, викликано холодною зоною під сучасним Південно-Східним Індійським хребтом (SEIR) на південь від Австралії (по суті, в області сполучення PAR і SEIR). Під AAD томографічні інверсії показують спрямовані північ-південь сейсмічні аномалії з більш високою, ніж у середньому швидкістю зсуву в нижній мантії, і опуклою, майже круглою, високошвидкісною аномалією в перехідній зоні (410–670 км). Автори вказують, що нинішній стан зони субдукції, яка оточувала Гондвану до мезозою, знаходиться в декількох сотнях кілометрів від AAD і припускають, що два фактори (1 – древній мантийний клин, виснажений тривалим плавленням і 2 – мантія, охолоджена субдукційною системою), пов'язані з тривалою субдукцією в конкретній геодинамічній ситуації на спрединговій границі двох континентів, вплинули на охолодження області AAD.

Механізм формування суперплюма Росса

Наша уява про механізм утворення суперплюма Росса базується на узагальнюючій інтерпретації ГТ-моделей (рис. 2 і рис. 4) і опублікованих даних по будові, геодинаміці та історії формування регіону. Суперплюм Росса утворився в результаті великої комплексної події глобального масштабу, яка включала ряд послідовно активізованих факторів, що визначили процес його утворення. Основні з них наступні:

1) наявність величезної області апвеллінгового розвантаження надглобального міжполюсного конвекційного потоку біля Південного магнітного полюса (Goncharov et al., 2012), сформував, ймовірно, величезний ядерно-нижньомантийний резервуар, в межах якого утворилася формація R суперплюма Росса. За даними ряду латеральних ГТ-моделей формація R суперплюма Росса центрується поблизу моря Росса з деякими зміщеннями його епіцентра на різних геосферних глибинах (в км: 1500, 467, 118 і 59) (Atlas, 2009). Тут доречно звернутися до образного поняття «мантийний вітер» (Tarduno et al., 2009), що пов'язане з динамікою мантії. Його причиною можуть бути крупномасштабні течії

мантійної конвекції, а також вплив занурення слевів (їх розміри, швидкість занурення, кут тиску), що характеризувало регіон розміщення суперплюма R;

2) входження першим в область міжполюсного геотермального потоку західного сегмента палеотихоокеанського слєба (AUS) (рис. 4), його ймовірний відкат в прогрітій області майже до вертикального положення і подальше обрушення до глибини 2500 км (рис. 4);

3) наслідком цього обрушення уявляється формування при-підконтинентального резервуара активної магми (попередника формації (R) суперплюма Росса) під крайовим обдукційним Західно-Антарктичним плато (Bialas, 2007; Bialas et al., 2007; Huerta, 2007), а також, ймовірно, під шаром акумуляції слевів, накопичення яких на латеральному бар'єрі транзитної зони (410—670 км) передувало вертикальному обрушенню потужного східного сегмента палеотихоокеанського слєба (SA) (рис. 4);

4) обрушення східного сегмента палеотихоокеанського слєба (SA) по ослабленій субдукцією частково гідратизованій зоні біля Південної Америки в глибини зовнішнього ядра до 4800 км (рис. 4). Принципову можливість такої геодинамічної ситуації припускав Storey et al. (2013). На нашу думку це обрушення: а) визначило в області південнополюсного геотермального потоку утворення океанської формації (L) суперплюма Росса і б) викликало катастрофічний сейсмічний удар, що збурило розташований в прилеглий області південнополюсний магматичний резервуар. Його вибух став причиною народження формації R суперплюма Росса і комплексної глобальної події 100 Ma, відгук якої в своїх роботах розглядають Vaughan and Livermore (2005), Matthews et al. (2011, 2012) та ін.

Локалізація приконтинентальної та океанської формацій суперплюма Росса при їх вибуховому утворенні

Нами вже зазначалося, що суперплюм Росса має складну конфігурацію, оскільки його різні частини формувалися в різних структурно-обмежую-

чих ситуаціях: формація R — в при-і підконтинентальній ситуації, формація L — під океанською літосферою. Це визначило їх різні структурні особливості. Складна конфігурація суперплюма була також пов'язана з етапністю його формування (Vaughan and Livermore, 2005).

Утворення доволишно-підконтинентальної формації (R) суперплюма Росса в напівзамкненому геосферному просторі. Ми припускаємо наступний сценарій. Основний вибух, що породив суперплюм, стався в напівзамкненому геосферному просторі.

Зверху, в суміжній з кратоном океанській частині, суперплюм був перекритий багат шаровою акумуляцією слевів, що накопичилися на латеральному бар'єрі транзитної зони (410—670 км) і зазнали аваланж при сейсмічному ударі внаслідок обрушення SA-сегмента палеотихоокеанського слєба. Такий аваланж за ~400 млн років субдукції палеотихоокеанської плити під Антарктичний сектор західної окраїни Гондвани (Veevers et al., 1997; Torsvik et al., 2014), ймовірно, відбувався неодноразово, що призводило до накопичення обірваних фрагментів слевів на границі ядро-мантія (Ritsema, Allen, 2003; Spasojevic et al., 2010a; Spasojevic et al., 2010b; Sutherland et al., 2010).

На окраїні кратона вибух був перекритий крайовим обдукційним Західно-Антарктичним плато (Huerta, 2007), дифузне розширення якого до 750—1000 км (Bialas, 2007; Bialas, Buck, 2007; Bialas et al., 2007, Fitzgerald et al., 2007a, Fitzgerald et al., 2007b), навіть до 1200 км в області моря Росса (Luyendyk et al., 2003) протягом середньої крейди, трансформувало його в стоншену кору WARS (Winberry, Anandakrishnan, 2004). Основна тектонічна активність рифту моря Росса мала місце в кінці ранньої до початку пізньої крейди (~105—83 Ma) (Luyendyk et al., 2001; Siddoway et al., 2005; Siddoway, 2008).

З півдня вибухове розростання суперплюма було блоковано древньою гондванською в'язкою, густою нижньою мантією, що залягала під Антарктичним кратоном і більш піддатливою верхньою мантією (рис. 3).

На заході були розташовані терейни MBL, TI, AP, причленені до західної окраїни Антарктиди, що мали неглибокі корені, але нижня мантія під ними ще залишалася щільною гондванською (Гожик та ін., 2019). Вибух основної частини резервуара (R) суперплюма під окраїною континенту в напівзамкненому, густинними утвореннями древньої гондванської мантії, геосферному просторі, після обрушення SA-сегмента палеотихоокеанського слєба мав три основні наслідки: 1) відносно обмежений викид продуктів вулканізму в атмосферу, що відповідає розподілу CO₂ на діаграмі рисунка Sourkhabi (2009); 2) глобальний прояв деформацій (Vaughan and Livermore, 2005; Matthews et al., 2011) і 3) глобальну активізацію спредингового процесу (Torsvik et al., 2008a).

Утворення океанської формації (L) суперплюма Росса під океанською літосферою. Приблизно 600 км на північ від Антарктиди в Тихому океані під океанською літосферою розміщувалась, розігріта міжполюсним конвекційним потоком (Гончаров, 2011; Гончаров та ін., 2012; Goncharov et al., 2012; Атлас, 2009) (рис. 2, 4), ослаблена субдукцією і, можливо, насичена флюїдом конвекційного потоку (Goncharov et al., 2012; Storey et al., 2013), глибока, що досягала границі ядромантія, зона, в межах якої локалізувалася вибухова формація L суперплюма Росса (рис. 4).

Термальні аномалії під морем Росса

Spasojevic et al. (2010a,b) повідомляють, що під регіоном моря Росса, в інтервалі глибин середньої мантії 1000—1600 км 80 Ма, виникла добре розвинена, велика, гаряча мантійна аномалія (A1). Ця спливаюча аномалія еволюціонувала до сучасного інтервалу глибин 400—1000 км і досягла верхньої мантії, як аномалія (A2) в ~20 Ма Spasojevic et al. (2010a). Автори названої роботи вважають, що дані термальні аномалії пов'язані з припиненням субдукції під Антарктиду, вивільненням накопиченого у глибині розплаву і його спливанням. При цьому в даному районі існує черезсмужжя аномалій температурних мінімумів і максимумів. Аналізуючи ряд подібних

ситуацій Spasojevic et al. (2010a) приходять до висновку, що їх наслідком є геоїдальні мінімуми. Такий мінімум, другий за величиною для Землі —64,4 м, розташований в морі Росса. В цілому, підтримуючи ці висновки, ми на підставі ГТ-розрізу глибиною 5300 км, простягнутому по азимуту 137°W-Pol поперечно до WARS, пропонуємо вважати термальні аномалії не пов'язаними з припиненням субдукції та спливанням, а пов'язаними з імпульсними протяженими клиноформами, що проникли в розшарований горизонт слєбової акумуляції, і які, як показує розріз, виклинюються при наближенні до густої мантії Антарктичного кратона приблизно під проекцією фронту TAM. На нашу думку тригером виникнення нижньої термальної аномалії A1 (глибина ~1600—700 км на ГТ-моделі) був імпульс, пов'язаний з народженням суперплюма Росса ~100 Ма, а верхньої A2 (глибина ~600—100 км на ГТ-моделі) — імпульс, пов'язаний із зіткненням хребта Пацифіка-Фенікс із західною окраїною Антарктиди ~83 Ма.

Речовинно-енергетичні глибинні джерела суперплюма Росса

У 1992—1993 рр. Н.А. Божко і М.А. Гончаров (Bozhko, 1992; Bozhko, Goncharov, 1993) висловили гіпотезу про надглобальний міжполюсний конвекційний енергетичний потік, що розвантажується біля Південного магнітного полюса Землі. Відомості про ці роботи містяться в роботі Goncharov et al. (2012). Пізніше М.А. Гончаров і співавтори (Гончаров, 2011; Гончаров та ін., 2012; Goncharov et al., 2012) цю гіпотезу обґрунтували. Ми підтримуємо і враховуємо цю розробку. Підставою є: 1) наведені вище ГТ-моделі (рис. 2 і 4); 2) дані про вулкан Еребус на о. Росса (77°32'S 167°17'E) з постійно активним киплячим лавовим озером в кратері, а також деякі непрямі факти.

За даними Gupta et al. (2009) під горою Еребус аж до глибини 200 км розміщується велика, майже кругової симетрії (близько 250—300 км в діаметрі), низькошвидкісна аномалія. Вона простежується до глибини ~400 км у вигляді вузької

похилої колони. Показана низькошвидкісна аномалія під вулканічною областю може бути вираженням теплової аномалії глибинного походження. Автори роблять висновок, що вулкан гори Еребус є гарячою точкою, що викликана WARS і пов'язана з мантійним плюмом. На нашу думку вулкан з активним лавовим озером в кратері, що знаходиться поблизу епіцентру міжполюсного конвекційного потоку має канал зв'язку з формацією R суперплюмом Росса або можливо і з міжполюсним конвекційним джерелом зовнішнього ядра. Відзначимо, що на нашій планеті тільки п'ять вулканів характеризуються таким природним об'єктом, як лавове озеро (Все лавовые озера планеты, 2016): два – в Африці, три – в Тихому океані, з них одне в кальдері вулкана Еребус на острові Росса, де розташовані дві діючі цілорічні станції – Мак-Мердо (США) і Скотт-Бейс (Нова Зеландія).

Непрямим доказом існування міжполюсного конвекційного потоку і його розвантаження біля південного магнітного полюса може служити повідомлення Orosei et al. (2018). Восени 2018 р. при аналізі старих радарних записів 2015 р. поблизу Південного полюса Марса було виявлено під льодом на глибині 1,5 км озеро рідкої води. Діаметр озера 20 км, шар води мінімум кілька десятків сантиметрів. Координати озера 81°S 193°E, тобто разюче близькі до координат земної області термопотоку, що може вказувати на розташування озера в області розвантаження, ймовірно, згасаючого міжполюсного конвекційного потоку остиглої планети.

Термопотоки можуть, можливо, також надходити з глибин зовнішнього ядра по каналах, що імпульсно відкриваються в періоди сейсмічних потрясінь. Про це, ймовірно, свідчить викид глибинної енергії Чилійським землетрусом магнітудою 8.8 біля берегів Південної Америки 27.02.2010 р. (Гилат, Вол, 2011). Її викид пройшов відстань 2–3 тис. км до Австралії. Автори публікації посилаються на візуалізацію цього викиду представлену Дирекцією національної океанічної і атмосферної візуалізації (The National

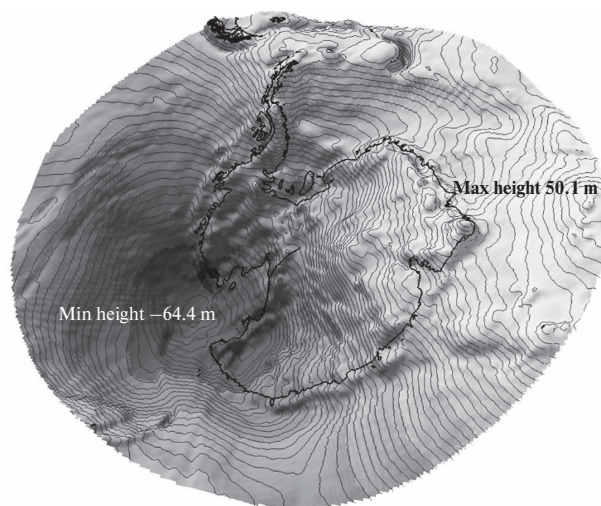


Рис. 5. Геоїд Антарктичного регіону (Atlas, 2009). Округле поле темно-сірого і сірого кольору показує прогрітий регіон, що знаходиться під впливом геотермальних потоків. Епіцентр області прогріву відповідає відомій антарктичній ондуляції геоїда (–64,4 м) і знаходиться біля моря Росса

Fig. 5. Geoid of the Antarctic Region (Atlas, 2009). Round dark grey area indicates the heated area that is influenced by geothermal flows. The epicenter of this heated area corresponds to the well known Antarctic geoid undulation (–64.4 m). It is located near the Ross Sea

Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) visualization). Вони підкреслюють, що викиди водню, географічно приурочені до Антарктиди і великих спредингово-рифтових зон, не є випадковими, а пов'язані з каналами розвантаження глибинної ядерної речовини. Ми припускаємо, що цей викид можливо пов'язати з ослабленою зоною яку створив SA-сегмент палеотихоокеанського слєба, що увійшов і занурився в глибини зовнішнього ядра поблизу Південної Америки (рис. 4). Відзначимо, що сприятливою умовою для зворотного підйому глибинних флюїдів від ядра до поверхні може служити як порушення цілісності надпотужної геосферної товщі обрушеним SA-слєбом, так і наявність гідратованого шару в перехідній зоні уздовж активних країн плит (Storey et al., 2013). Подібна ситуація, швидше за все, мала місце поблизу Південної Америки.

Вплив геотермальних потоків на південно-західну Антарктику

Величезна територія – фактично вся південно-західна частина Тихого океану, вся Західна Антарктида і західна частина Східної Антарктиди знаходиться під впливом декількох джерел геотермального потоку, що узагальнює ГТ-модель геоїда Антарктичного регіону (рис. 5; Atlas, 2009).

Його складовими є: 1) міжполюсний конвекційний енергетичний потік, що піднімається з глибин зовнішнього ядра (Гончаров и др., 2012; Goncharov et al., 2012; Грушинский и др., 2004); 2) геотермальні потоки від формацій R і L суперплюма Росса (рис. 2, 4); 3) прогрів суперплюмовою магмою, що інтродувала до складу астеносфери південно-західної частини Тихого океану в процесі її розширення (рис. 2).

Вік суперплюма Росса

Вік суперплюма Росса найбільш продуктивно визначати по слідах-об'єктах геодинамічного відгуку на однойменну суперплюмову подію. Такий матеріал системно представлено в публікаціях (Vaughan and Livermore, 2005; Matthews et al., 2012). Робиться висновок, що він характеризує глобальну подію віком ~100 Ма. При цьому в першій з названих робіт розглянута етапність події по досить добре вивченим структурам з ідентифікованим віком, що розташовані поблизу суперплюма (Vaughan and Livermore, 2005).

Етапність події 100 Ма, в суміжних до її епіцентра районах, як відгук на складну суперплюмову подію

Ймовірним підтвердженням нашої інтерпретації гравітомографічної моделі щодо проникнення слєба в глибини зовнішнього ядра (рис. 4) можуть служити дослідження Vaughan and Livermore (2005), які містять висновок про етапність верхньо-середньокрейдової деформації в південній частині Тихого океану і про її глобальний ефект. На думку цих дослідників верхньо-середньокрейдова деформація сталася в два коротких періода. Ініціація першого з них мала місце від

~116 до 110 Ма в західному палеотихоокеанському регіоні. Ми припускаємо, що цей період слід відносити до відкату і обрушення західного приавстралійського сегмента палеотихоокеанського слєба (рис. 4, позначення AUS), який першим увійшовши поблизу Південного полюса в термальну область розвантаження міжполюсного конвекційного потоку (рис. 2, 4), втратив міцність і обрушився.

Ініціація другого періоду, від ~105 до 99 Ма, мала епіцентр збурення в східному палеотихоокеанському регіоні. З цим часом ми пов'язуємо обрушення південно-американського сегмента слєба (рис. 4, позначення SA), який за даними гравіметричної томографії занурився в глибини зовнішнього ядра до ~4800 км. Саме це обрушення стало тригером комплексу похідних катастрофічних подій, пов'язаних з узагальнюючою суперплюмовою подією 100 Ма, і, зокрема, з народженням верхньо-середньокрейдового суперплюма Росса (формації R-L).

Вік гарячої точки Луїсвілл – похідної суперплюма Росса

Гаряча точка Луїсвілл (LH) має маркуюче значення для віку розширення дна південно-західної частини Тихого океану. При цьому немає однозначної оцінки щодо її віку та джерела живлення магмою. Коротко наведемо деякі відомості стосовно віку LH в зв'язку з її участю у формуванні хребта Луїсвілл (LR).

1) За даними дослідження Luyendyk (1995) геометрія спредингової системи в південній частині Тихого океану в середині крейди була схожа на спредингову систему, діючу під час хрона 34 (83 Ма) після початку спрединга морського дна між Новою Зеландією та Антарктидою, що дозволяє нам припустити надходження магми суперплюма Росса в цю спредингову структуру у вигляді LH приблизно в 90 Ма.

2) Автори досліджень, виконаних за програмою буріння LR (Expedition 330 Scientists, 2011), показують, що точка LH маркує трек прогресивного вікового ряду вмерлих вулканів і гайотів,

які створили LR та показують розростання Тихоокеанської плити при її проходженні над ЛН. Вік найбільш древніх гір цього ланцюга за даними ізотопного датування оцінюється в ~78 і 73 Ма. Ізотопні дані також вказують на такі особливості ЛН, як її довгоживучість та геохімічну однорідність джерела магми. При цьому вважається можливим її зв'язок з великою магматичною провінцією Онтонг Джава.

3) Timm et al. (2013) в своїх дослідженнях відзначають, що LR утворився за останні 80 млн років, а також приходять до висновку, що ланцюг підводних гір Луїсвілл на Тихоокеанській плиті піддався за останні 7 млн років відносно стаціонарній та безперервній субдукції під Індо-Австралійську плиту. Цей факт може вказувати на більший вік передової ділянки хребта, ніж вік найдавнішого спостережуваного вулкана (~78 Ма) в ланцюгу Луїсвілл. Ймовірно, початковий вік ЛН може становити ≥ 90 Ма, що не суперечить геодинамічним подіям верхньо-середньої крейди в південно-західній частині Тихого океану.

4) Розглядаючи трек підводних гір Луїсвілл, Koppers et al. (2004) також приходять до висновку, що вік ініціації плюму Луїсвілл наближається до 90 Ма і аналізуючи літературні дані сумніваються, що точка ЛН пов'язана з плюмом Отонга Джава.

Виокремлення події 100 Ма з події 120 Ма

Загальновідомо, що суперплюмова подія 120 Ма пов'язана з активацією центрально-південнотихоокеанського суперплюма (Larson, 1991a,b; та ін.). Однак, немає ясності про невідомий конкретний тригер події 100 Ма. Виходячи з проінтерпретованих вище матеріалів, ми вважаємо, що подія 100 Ма (Vaughan and Livermore, 2002; Matthews et al., 2012; та ін.), пов'язана з утворенням суперплюма Росса в Антарктичному секторі Тихого океану. Виглядає так, що подія суперплюма Росса 100 Ма, для якої притамані всі глобальні сигнали суперплюмової події, замаскована шлейфом сигналів події Тихоокеанського суперплюма 120 Ма.

Рисунок з роботи Sourkhabi (2009) ілюструє узагальнюючу діаграму глобальних природних наслідків цих двох суперплюмових подій, об'єднаних ним на діаграмі рисунка як Середньокрейдяний південнотихоокеанський суперплюм (Mid-Cretaceous South Pacific Superplume?), на якій вони не розділені, охоплюючи період від 120 до 83 Ма (часова темна смуга). Автор роботи зазначає, що діаграма складена за даними Ларсон (Larson, 1991a) і декількома іншими джерелами.

При уважному ознайомленні з кривими часового розподілу показників природного середовища в межах часової смуги від більш давнього до більш пізнього прояву названих середньокрейдяних тихоокеанських суперплюмів на кривих розподілу визначаються сигнали істотної зміни значень – іноді плавної (збільшився вміст фітопланктону), а на рубежі ~100 Ма досить виразної (більш різкої) – знизилася поверхнева температура, підвищився рівень Світового океану, знизилася продукція земної кори, знизився вміст CO₂ в атмосфері. Зазначено, що різні зміни в океанах і атмосфері Землі в середині крейдяного періоду, викликані, ймовірно, апвеллінгом суперплюма.

Але прояв суперплюмової події 100 Ма відрізнявся від прояву події 120 Ма. Так маси суперплюмової магми з найбільш продуктивного південнополюсного джерела R переважно не вийшли на поверхню у вигляді LIPs. Вони отримали розповсюдження нижче земної кори – при розширенні WARS та розширенні південно-західної частини Тихого океану, а також при просуванні під західну частину Східної Антарктиди. Наш розгляд діаграми з роботи Sourkhabi (2009) з врахуванням даних інших авторів приводить до наступних висновків:

- рубіж 100 Ма щодо великих магматичних провінцій (LIPs) і гарячих точок відзначається як рубіж переходу від періоду їх формування до періоду переважаючого плейттектонічного процесу (Torsvik et al., 2008a);
- приблизно в 120 Ма Антарктида наблизилася до Південного полюса Землі (Torsvik et al., 2008b), що могло свідчити про зміну положення осі Зем-

лі (Li, Zhong 2009; Оровецький, Коболєв, 2008; Тяпкин, 2014), і, отже про позиціонування Антарктиди поблизу області розвантаження міжполюсного конвекційного потоку (Гончаров, 2011; Гончаров та ін., 2012; Goncharov et al., 2012) (рис. 2, 4);

- весь період, починаючи з 120 Ма і до 80 Ма (протягом 40 млн років) були відсутні магнітні інверсії, що вказує на розбалансування земного динамо (Mandea et al., 2010) на весь період цього часу. Ми вважаємо, що спочатку в зв'язку з суперплюмовою подією 120 Ма, а потім – у зв'язку з суперплюмовою подією 100 Ма.

У контексті датування відгуку оточуючого середовища на суперплюмові події нижньої і верхньої крейди слід також звернути увагу на роботу Timofeeff et al. (2006), в якій автори за хімічним аналізом флюїдних включень в первинних морських галітах різних частин палеоокеану визначають основний йонний склад морської води крейдового періоду та роблять наступні висновки.

Гідрохімічні показники вод крейдового океану досить чітко відокремлюють період ранньої крейди – пікового збільшення виробництва океанської кори під час барремсько-аптського “вулканічного імпульсу” між 126 і 112 Ма від періоду пізньої крейди – зниження продукції океанської кори між 100 і 80 Ма у сеноман-сантоні. Високі показники утворення океанської кори в нижній крейді збігаються з дуже низьким відношенням Mg^{2+}/Ca^{2+} у воді барремсько-альбського океану, в той час як пізньокрейдяне зниження продукції океанської кори між 100 і 80 Ма (Sourkhabi, 2009), збігається з ростом у водах океану відношення Mg^{2+}/Ca^{2+} . Зміна відношень цих макрокомпонентів вказує на перебудову багатьох більш тонких процесів, що впливають на седиментогенез, аутигенне мінералоутворення, кислотно-лужні показники вод і, в цілому, на біогенез (Timofeeff et al., 2006).

У роботі Harries and Little (2015) повідомляється про катастрофічне, масове вимирання біоти, причинно і хронологічно пов'язане з різкими змінами довкілля, зокрема, в сеноман-туроні (100–90 Ма).

Також зазначимо, що подія 100 Ма зафіксована в роботах Vaghan and Livemore (2005), Matthews et al. (2011, 2012) списками районів і структур зі слідами приурочених до цього часу деформацій гірських порід, магматизма і метаморфізма. Тригером даної події (Vaghan and Livemore, 2005) вважають активізацію суперплюма в Тихому океані, але його місце розташування не називають.

К.Дж. Меттьюз і співавтори (Matthews et al., 2012) вказують, що подія 100 Ма в загальному плані проявилася в такий спосіб: а) вплинула на відносний рух всіх основних спредингових систем, де океанічна кора збереглася на сьогоднішній день; б) змінила існуючі раніше континентальні тектонічні режими уздовж багатьох великих конвергентних окраїн, і в) модифікувала схему літосферних напружень в континентальних районах далеко від конвергентних окраїн. В якості рушійних механізмів плитної реорганізації (Matthews et al., 2012) обережно підтримують дві концепції: 1) закінчення субдукції вздовж Східної Гондвани і 2) правосторонню взаємодію плюму Буве з потрійним зчленуванням хребтів Африка–Південна Америка–Антарктида. В кінцевому рахунку автори даного дослідження вважають, що ці механізми бажано перевірити з використанням, в повній мірі, динамічних моделей мантійної конвекції.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень вперше за даними аналізу ГТ-розрізів і з урахуванням опублікованих матеріалів по регіону та проблематиці даної статті отримані наступні унікальні результати.

- 1) В Антарктичному секторі Тихого океану виявлено суперплюм, названий суперплюмом Росса, показані особливості його структури та причина його виникнення.

- 2) Вперше зафіксована можливість проникнення слеба в межі зовнішнього ядра до глибини 4800 км. Це призвело до виникнення в межах зовнішнього ядра з глибини 3500 км суперплюма (рис. 4) і, як наслідок, стало причиною катастрофічного сейсмічного удару, що став тригером

комплексної глобальної тектоно-магматичної події 100 Ма.

3) Показано, що причиною розростання дна південно-західної частини Тихого океану, як і причиною одночасного виникнення дифузної лужної магматичної провінції (DAMP) в межах цієї території є нагнітання суперплюмової магми у відносно ослаблену астеносферну зону океанської літосфери (рис. 2).

4) Знято неоднозначність походження гарячої точки Луїсвілл і показаний її безумовний зв'язок з суперплюмом Росса, запропоновані координати позиції LH в структурі PAR-EAR.

5) Дане дослідження дозволило виокремити з сигналів середньокрейдової суперплюмової події, що почалася в південно-центральної частині Тихого океану ~120 Ма, верхньо-середньокрейдову суперплюмову подію 100 Ма, епіцентр якої був розташований в антарктичній частині Тихого океану і пов'язати з нею геодинамічний ефект, що мав глобальні наслідки в період 100—80 Ма (Vaughan and Livermore, 2002; Matthews et al., 2012). Для південно-західної частини Тихого океану цей ефект продовжився у період 80—60 Ма (Cande et al., 1995).

6) Проілюстровано геотермальний прогрів величезної території, що охоплює південно-західну частину Тихого океану, Західну Антарктиду і західну частину Східної Антарктиди (рис. 2—5). Геотермальний прогрів є одним із постійно діючих факторів процесу, що прискорює танення антарктичної криги (прогрів знизу) та значно підсилює дію фактору сучасного глобального потепління клімату Землі (прогрів зверху). Очікувані екологічні ризики можуть мати глобальні наслідки та вже проявляються перебудовою екологічних структур Землі (Екосистеми и благосостояние человека, 2005; Grimm et al., 2013, та ін.).

7) До найважливіших результатів представленої роботи також варто віднести розроблений в ІГН НАН України метод гравітографічного моделювання, автором якого є к. ф.-м. н., с. н. с. Р.Х. Греку. Метод являє собою продуктивний інструмент пізнання глибинної будови Землі, без якого неможливо було б виконати дане дослідження.

На закінчення треба коротко сказати стосовно перспективи подальших досліджень з даної тематики як у фундаментальному науковому, так і у практичному аспектах. Більш конкретно, за напрямками це вивчення: 1) глибинної будови Антарктичного мегарегіону за допомогою гравітографічних досліджень; 2) впливу глибинних магматичних структур на деградацію льодових покровів залежно від тектонічної структури земної кори, внаслідок чого зростають або зменшуються екологічні ризики; 3) перспективи щодо корисних копалин, в тому числі вуглеводнів. Регіони дослідження на основі яких будуть вирішуватися ці завдання – Антарктична плита, континент Антарктида в цілому, зокрема Західна Антарктида (WARS та AP).

Подяки. Автори вважають своїм обов'язком висловити щирю подяку директору ІГН НАН України академіку НАН України П.Ф. Гожику за багаторічну підтримку та поради в роботах з даної тематики. Особлива подяка с. н. с. К.Ю. Ткаченко за незмінну підтримку мотивації до написання цієї статті і коректуру англійських текстів. Автори висловлюють також щирю подяку анонімним рецензентам за виконаний аналіз статті та суттєві зауваження.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Все лавовые озера планеты.* 2016. <http://fuckingnews.ru/travel/vse-lavovye-ozera-planety.html> (дата звернення: 01.08.2019).
2. Гилат А., Вол А. Первичные водород и гелий – самый мощный источник энергии эволюции Земли, землетрясений и вулканических извержений. Союз ученых-репатриантов Израиля. *Электронный научный семинар.* 2011. <http://www.elektron2000.com/node/822> (дата звернення: 01.08.2019).
3. Гожик П.Ф., Греку Р.Х., Богилло В.И., Базилевская М.С., Ткаченко К.Ю., Греку Т.Р. Основные направления исследований отдела геологии и геоэкологии Антарктики Института геологических наук НАН Украины. *Геол. журн.* 2019. № 1 (366). с. 5—26.
4. Гончаров М.А. Кинематическая модель дрейфа континентов как причина расширения южного и сокращения северного полушария Земли. *Ротационные процессы в геологии и физике.* Отв. ред. Е.Е. Милановский. М.: КомКнига, 2007. с. 279—286. <http://www.geo>

- kniga.org/bookfiles/geokniga-rotacionnye-processy.pdf (дата звернення: 01.08.2019).
5. Гончаров М.А., Лубнина Н.В., Разницин Ю.Н., Баркин Ю.В. Вклад циклической меридиональной компоненты дрейфа континентов в эволюцию суперконтинентов Земли: глобальная палеомагнитная геодинамика. *Научная конференция Ломоносовские чтения, МГУ, апрель 2012 года, секция Геологии*. 2012. http://geo.web.ru/pubd/2012/06/01/0001186421/pdf/goncharov_et_al_2012.pdf (дата звернення: 01.08.2019).
 6. Греку Р.Х., Бондарь К.М. Алгоритм и математическое моделирование плотностной структуры земных недр по данным геоида. *Геоинформатика*. 2003. № 2. С. 66—69.
 7. Греку Р.Х., Гожик П.Ф., Литвинов В.А., Усенко В.П., Греку Т.Р. Атлас глубинного строения Антарктики по данным гравиметрической томографии. *Український антарктичний журнал*. 2009. № 8. с. 39—42. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/128547/07-Greku.pdf?sequence=1> (дата звернення: 01.08.2019).
 8. Греку Р.Х., Греку Т.Р. Глубинное строение антарктической литосферной плиты по границе вдоль срединно-океанических хребтов по секущим вертикальным разрезам и латеральным сечениям на различных глубинах. *Український антарктичний журнал*. 2009. № 8. 88—94.
 9. Грушинский А.Н., Строев П.А., Корякин Е.Д. Строение литосферы Антарктики и ее изостатическое состояние. *Отечественная геология*. 2004. № 2. с. 30—36.
 10. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Глубинная геодинамика, или как работает мантия Земли. *Наука из первых рук*. 2011. т. 42. № 6. <https://scfh.ru/papers/glubina-ya-geodinamika-geodinamika-ili-kak-rabotaet-mantiya-zemli/> (дата звернення: 01.08.2019).
 11. Оровецкий Ю.П., Коболев В.П. Связь геоструктур главных поверхностей Земли. *Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. Материалы XIV МК. Петрозаводск, Ч. 1*. 2008. 99—102.
 12. Тетерин Д. Е. *Рельеф дна, глубинное строение и геодинамика переходных зон Западной Антарктиды*.: автореф. дис. на соискание науч. степени докт. геол.-мин. наук. Москва, 2008. 50 с. <https://www.twirpx.com> (дата звернення: 01.08.2019).
 13. Тяпкин К.Ф. Новый взгляд на геотектогенез, обусловленный изменением положения тектоносферы Земли относительно оси ее вращения. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2014. № 1. С. 5—19. <https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-vzglyad-na-geotektogenez-obuslovlennyi-izmeneniem-polozheniya-tektonosfery-zemli-otnositelno-osi-ee-vrascheniya> (дата звернення: 01.08.2019).
 14. Экосистемы и благосостояние человека. Синтез. *Доклад международной программы «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (ОЭ)*. 2005. 138 с. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.791.aspx.pdf> (дата звернення: 01.08.2019).
 15. Abbot, D.H. and Isley Ann, E. 2002. The intensity, occurrence, and duration of superplume events and eras over geological time. *J. Of Geodynamics*, 34 (2), 265—307. doi: 10.1016/S0264-3707(02)00024-8. https://www.researchgate.net/publication/240430428_The_intensity_occurrence_and_duration_of_superplume_events_and_eras_over_geological_time (дата звернення: 01.08.2019).
 16. Bialas, R. The Transantarctic Mountains. 2007. *TransAntarctic Mountains TRANSITION Zone (TAM TRANZ Project)*. In Elliot, D.H., Lyons, W.B. and Everett L.R. TransAntarctic Mountains TRANSITION Zone (TAM TRANZ Project): Multidisciplinary Research in the Central and Southern Transantarctic Mountains. Byrd Polar Research Center, Miscellaneous Series 430, Byrd Polar Research Center, The Ohio State University, Columbus, OH., 99 pages. http://bprc.osu.edu/workshops/tam_2006/report_final.pdf (дата звернення: 01.08.2019).
 17. Bialas, R.W., Buck, W.R. Studinger, M., Fitzgerald, P.G. 2007. Plateau collapse model for the Transantarctic Mountains—West Antarctic Rift System: Insights from numerical experiments. *J. Geology*, 35; 8, 687—690. doi: 10.1130/G23825A.1. <http://www.geology.cwu.edu/facstaff/huerta/g501/pdf/Bialas2007.pdf> (дата звернення: 01.08.2019).
 18. Breitsprecher, K., Thorkelson, D.J. 2009. Neogene kinematic history of Nazca—Antarctic—Phoenix slab windows beneath Patagonia and the Antarctic Peninsula. *Tectonophysics*, 464, 1—4, 10—20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040195108001054> (дата звернення: 01.08.2019).
 19. Cande, C.S., Raymond, C.A., Stock, J., Haxby, W.F. 1995. Geophysics of the Pitman Fracture Zone and Pacific—Antarctic Plate Motion During the Cenozoic. *Science*, 270, 947—953.
 20. Choudhuri, M. and Nemčok, M. 2017. Chapter 2. Plumes and Hotspots. In: *Mantle Plumes and Their Effects. Springer Briefs in Earth System Sciences*, X, 137. 19—42. doi: 10.1007/978-3-319-44239-6_2. <http://www.springer.com/978-3-319-44239-6> (дата звернення: 01.08.2019).
 21. Condie, K.C. 2001. *Mantle plumes and their records in Earth history*. Cambridge University Press, 320. www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-condiemantleplumes2001.pdf (дата звернення: 01.08.2019).
 22. Condie, K.C. 2005. *Earth as an Evolving Planetary System*. Elsevier, 350. https://books.google.com.ua/books/about/Earth_as_an_Evolving_Planetary_System.html?id=I_t-hUWi518C&redir_esc=y (дата звернення: 01.08.2019).
 23. Courtillot, V., Davaille, A., Besse, J., and Stock, J. 2008. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 205, 295—308. <http://>

- www.olegakupov.com/Translations/Three_Distinct_Types_Hotspots_RU.htm (дата звернення: 01.08.2019).
24. Expedition 330 Scientists, 2011. Louisville Seamount Trail: implications for geodynamic mantle flow models and the geochemical evolution of primary hotspots. *IODP Prel. Rept.*, 330. doi:10.2204/iodp.pr.330.2011. 174. http://publications.iodp.org/preliminary_report/330/330PR.PDF (дата звернення: 01.08.2019).
 25. Finn, C.A., Müller, R.D. and Panter, K.S. 2005. A Cenozoic diffuse alkaline magmatic province (DAMP) in the southwest Pacific without rift or plume origin. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6, Q02005. doi:10.1029/2004GC000723. <http://www.agu.org/journals/ABS/2005/2004GC000723.shtml> (дата звернення: 01.08.2019).
 26. Fitzgerald, P.G., Studinger, M., Bialas, R.W., Buck, W. 2007a. Geological and Tectonic Evidence for the Formation and Extensional Collapse of the West Antarctic Plateau: Implications for the Formation of the West Antarctic Rift System and the Transantarctic Mountains. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract #T41A-0378/*. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2007AGUFM.T41A0378F> (дата звернення: 01.08.2019).
 27. Fitzgerald, P.G., Bialas, R.W., Buck, W.R. and Studinger, M. 2007b. A plateau collapse model for the formation of the West Antarctic rift system/Transantarctic Mountains, in Antarctica. *A Keystone in a Changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES X*, edited by A. K. Cooper and C. R. Raymond et al. USGS Open-File Report 2007-1047, Extended Abstract 087, 4.
 28. Goncharov, M.A., Raznitsin, Yu.N., Barkin, Yu.V. 2012. Specific features of deformation of the continental and oceanic lithosphere as a result of the Earth core northern drift. *Geodynamics & Tectonophysics*, 3, 1, 27–54. doi: 10.5800/GT-2012-3-1-0060. https://www.researchgate.net/publication/272729790_Specific_features_of_deformation_of_the_continental_and_oceanic_lithosphere_as_a_result_of_the_Earth_core_northern_drift (дата звернення: 01.08.2019).
 29. Greku, R.Kh., Usenko, V.P. and Greku, T.R. 2006. Geodynamic Features and Density Structure of the Earth's Interior of the Antarctic and Surrounded Regions with the Gravimetric Tomography Method. In: Fütterer D.K., Damaske D., Kleinschmidt G., Miller H., Tessensohn F. (eds). *Antarctica*. Springer Berlin Heidelberg. Theme 7, 369–375. doi: 10.1007/3-540-32934-X. https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-32934-X_46 (дата звернення: 01.08.2019).
 30. Greku, R.Kh., Gozhik, P.F., Litvinov, V.A., Usenko, V.P., Greku, T.R. 2009. *Atlas of the Antarctic deep structure with the Gravimetric Tomography*. Kiev, 67.
 31. Grimm, N.B., F.S. Chapin, III, Bierwagen, B., Gonzalez, P., Groffman, P.M., Luo, Y., Melton, F., Nadelhoffer, K., Pairis, A., Raymond, P. A., Schimel, J., and William-son, C. E. 2013. The impacts of climate change on ecosystem structure and function. *Front Ecol Environ.*, 11(9), 474–482. doi:10.1890/120282. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/120282> (дата звернення: 01.08.2019).
 32. Gupta, S., Zhao, D., Rai, S.S. 2009. Seismic imaging of the upper mantle under the Erebus hotspot in Antarctica. *Gondwana Research.*, 16, 1, 109–118.
 33. Gurnis, M. and Müller, R. D. 2003. Origin of the Australian–Antarctic Discordance from an ancient slab and mantle wedge. *Geol. Soc. Australia*. Spec. Publ. 22, and *Geol. Soc. America.*, 372, 417–429. https://www.researchgate.net/publication/235997954_Origin_of_the_Australian-Antarctic_Discordance_from_an_ancient_slab_and_mantle_wedge (дата звернення: 01.08.2019).
 34. Hansen, S.E., Graw, J.H., Kenyon, L.M., Nyblade, A. A., Wiens, D.A., Aster, R.C., Huerta, A.D., Anandakrishnan, S., and Wilson, T. 2014. Imaging the Antarctic mantle using adaptively parameterized P-wave tomography: Evidence for heterogeneous structure beneath West Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, 408, 66–78. http://epsc.wustl.edu/seismology/doug/wpcontent/uploads/2017/10/Hansen_et_al_EPSL_2014.pdf (дата звернення: 01.08.2019).
 35. Harries, P.J. and Little, C.T.S. 2015. The early Toarcian (Early Jurassic) and the Cenomanian-Turonian (Late Cretaceous) mass extinctions: similarities and contrasts. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 154, 39–66. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S031018299000863?via%3Dihub> (дата звернення: 01.08.2019).
 36. Huerta, A.D. 2007. Byrd drainage system: evidence of a Mesozoic West Antarctic Plateau, in Antarctica. *A Keystone in a changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES X*. ed. by A. Cooper and C. Raymond et al., USGS Open-File Report 2007-1047, Extended Abstract 091, 5. https://www.researchgate.net/publication/228491254_Byrd_drainage_system_evidence_of_a_Mesozoic_West_Antarctic_Plateau (дата звернення: 01.08.2019).
 37. Koppers A.A.P., Duncan, R.A., Steinberger, B. 2004. Implications of a nonlinear $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ age progression along the Louisville seamount trail for models of fixed and moving hot spots. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems.*, 5, 6. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003GC000671/abstract> (дата звернення: 01.08.2019).
 38. Larson, R.L. 1991a. Latest pulse of Earth; evidence for a Mid-Cretaceous super plume. *Geology*, 19, 6, 547–550. https://websites.pmc.ucsc.edu/~rcoee/eart206/Larson_superplume1_Geology91.pdf (дата звернення: 01.08.2019).
 39. Larson, R.L. 1991b. Geological consequences of superplumes. *Geology*, 19, 10, 963–966. <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/19/10/963/205223/geological-consequences-of-superplumes?redirectedFrom=fulltext> (дата звернення: 01.08.2019).

40. Li, Z.X., Zhong, S. 2009. Supercontinent-superplume coupling, true polar wander and plume mobility: plate dominance in whole-mantle tectonics. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 176, 143–156. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009PEPI..176..143L/abstract> (дата звернення: 01.08.2019).
41. Luyendyk, B.P. 1995. Hypothesis for Cretaceous rifting of east Gondwana caused by subducted slab capture. *Geology*, 373–376. http://www.geol.ucsb.edu/faculty/luyendyk/Luyendyk_pdf/LuyendykGEOL'95.pdf (дата звернення: 01.08.2019).
42. Luyendyk, B.P., Sorlien, C.C., Wilson, D.S., Bartek, L.R., Siddoway, C.S. 2001. Structural and tectonic evolution of the Ross Sea rift in the Cape Colbeck region, Eastern Ross Sea, Antarctica. *Tectonics*, 20, 6, 933–958. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2000TC001262> (дата звернення: 01.08.2019).
43. Luyendyk, B.P., Wilson, D.S. and Siddoway, C.S. 2003. Eastern margin of the Ross Sea Rift in western Marie Byrd Land, Antarctica: Crustal structure and tectonic development. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4(10), 1090. doi: 10.1029/2002GC000462. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GC000462> (дата звернення: 01.08.2019).
44. Mandea, M., Holme, R., Pais, A., Pinheiro, K., Jackson, A., Verbanac, G. 2010. Geomagnetic Jerks: Rapid Core Field Variations and Core Dynamics. *Space Sci Rev.*, 155, 147–175. doi: 10.1007/s11214-010-9663-x. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11214-010-9663-x> (дата звернення: 01.08.2019).
45. Matthews, K.J., Seton, M., Müller, R.D. 2012. A global-scale plate reorganization event at 105–100 Ma. *Earth and Planetary Science Letters*, 355–356, 283–298. https://www.researchgate.net/publication/258465505_Was_there_a_global-scale_plate_reorganisation_event_at_100_Ma (дата звернення: 01.08.2019).
46. Matthews, K.J., Seton, M., Muller, R.D. 2011. Was there a global-scale plate reorganisation event at 100 Ma? *American Geophysical Union. Fall Meeting 2011*, abstract id. T23D-2446. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFM.T23D2446M> (дата звернення: 01.08.2019).
47. Montelli, R., Nolet, G., Dahlen, F.A., and Masters, G. 2006. A catalogue of deep mantle plumes: New results from finite-frequency tomography. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 7, 11. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006GC001248/full> (дата звернення: 01.08.2019).
48. Orosei, R., Lauro, S.E., Pettinelli, E. A., Cicchetti, M., Coradini, B., Cosciotti, F., Di Paolo et al. 2018. Radar evidence of subglacial liquid water on Mars. *Science*, 361, 6401, 490–493. <http://science.sciencemag.org/content/361/6401/490> (дата звернення: 01.08.2019).
49. Ramirez, C., Nyblade, A., Emry, E.L., Julia, J., Sun, X., Anandakrishnan, S., Wiens, D.A., Aster, R.C., Huerta, A.D., Winberry, P., Wilson, T. 2017. Crustal structure of the Transantarctic Mountains, Ellsworth Mountains and Marie Byrd Land, Antarctica: constraints on shear wave velocities, Poisson's ratios and Moho depths. *Geophysical Journal International*, 211, 3, 1328–1340. <https://academic.oup.com/gji/article-abstract/211/3/1328/4064366> (дата звернення: 01.08.2019).
50. Ritsema, J., Allen, R.M. 2003. The elusive mantle plume. *Earth and Planetary Science Letters*, 207, 1–12. <https://rallen.berkeley.edu/pub/2002ritsema/RitsemaAllen-PlumesEPSL2003.pdf> (дата звернення: 01.08.2019).
51. Russo, R.M., VanDecar, J.C., Comte D. et al. 2010. Subduction of the Chile Ridge: Upper mantle structure and flow. *GSA Today*, 20, 9, 4–10. doi: 10.1130/GSATG61A.1. <http://www.geosociety.org/gsatoday/archive/20/9/pdf/i1052-5173-20-9-4.pdf> (дата звернення: 01.08.2019).
52. Siddoway, C. S., Sass, L. C. and Esser, R. P. 2005. Kinematic history of western Marie Byrd Land, West Antarctica: direct evidence from Cretaceous mafic dykes. *Geological Society. London, Special Publications*, 246(1), 417–438. <http://sp.lyellcollection.org/content/246/1/417.abstract> (дата звернення: 01.08.2019).
53. Siddoway, C.S. 2008. Tectonics of the West Antarctic Rift System: New Light on the History and Dynamics of Distributed Intracontinental Extension. *Antarctica: A Keystone in a Changing World. Proceedings of the 10th International Symposium on Antarctic Earth Science*. Cooper, A. K., Barrett, P. J., Stagg H. et al. Washington, DC: The National Academies Press, 91–114. http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=12168&page=101 (дата звернення: 01.08.2019).
54. Sourkhabi, R. 2009. Mid Cretaceous Source Rock Enigma. *GeoExPro*, 6, 5, 24–30. <http://www.geoexpro.com/articles/2009/05/mid-cretaceous-source-rock-enigma> (дата звернення: 01.08.2019).
55. Spasojevic, S., Gurnis, M. and Sutherland, R. 2010a. Mantle upwellings above slab graveyards linked to the global geoid lows. *Nature Geoscience*, 3, 435–438. https://www.academia.edu/25286200/Mantle_upwellings_above_slab_graveyards_linked_to_the_global_geoid_lows (дата звернення: 01.08.2019).
56. Spasojevic, S., Gurnis, M. and Sutherland, R. 2010b. Inferring mantle properties with an evolving dynamic model of the Antarctica-New Zealand region from the Late Cretaceous. *J. Geophys. Res.*, 115. B05402. doi:10.1029/2009JB006612. <http://authors.library.caltech.edu/18551/> (дата звернення: 01.08.2019).
57. Storey, B.C. 1993. Tectonic controls on Gondwana breakup models: evidence from the proto-Pacific margin of Antarctica and the southern Andes. *Second ISAG*. Oxford (UK), 21–23.09.1993, 551–554. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques2/38492.pdf (дата звернення: 01.08.2019).

58. Storey, B.C., Vaughan, A.P.M. and Riley, T.R. 2013. The links between large igneous provinces, continental break-up and environmental change: evidence reviewed from Antarctica. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 104(1), 17–30. <http://nora.nerc.ac.uk/502766/1/TRAES04%20%281300011%29%20-%20First%20proof%20%282%29.pdf> (дата звернення: 01.08.2019).
59. Storey, B.C., Leat, P.T., Weaver, S.D., Pankhurst, R.J., Bradshaw, J.D. and Kelley, S. 1999. Mantle plumes and Antarctica–New Zealand rifting; evidence from Mid-Cretaceous mafic dykes. *Journal of the Geological Society of London*, 156, 4, 659–671. <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1047741860> (дата звернення: 01.08.2019).
60. Sutherland, R., Spasojevic, S. and Gurnis, M. 2010. Mantle upwelling after Gondwana subduction death explains anomalous topography and subsidence histories of eastern New Zealand and West Antarctica. *Geology*, 38, 155–158. doi:10.1130/G30613.1. <http://geology.gsapubs.org/content/38/2/155.abstract> (дата звернення: 01.08.2019).
61. Suzuki, N., Utsunomiya A., Maruyama S. 2001. The History of the Pacific Superplume. *American Geophysical Union, Fall Meeting*, abstract #T42A-0917. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2001AGUFM.T42A0917S/abstract> (дата звернення: 01.08.2019).
62. Timm, Chr., Bassett, D., Graham, I.J., Leybourne, M.I., de Ronde, C.E.J., Woodhead, J., Layton-Matthews, D. and Watts, A.B. 2013. Louisville seamount subduction and its implication on mantle flow beneath the central Tonga–Kermadec arc. *Nature Communications*, 4, Article number: 1720. doi:10.1038/ncomms2702. <https://www.nature.com/articles/ncomms2702> (дата звернення: 01.08.2019).
63. Tarduno, J., Bunge, H.-P., Sleep, N., Hansen, U. 2009. The Bend Hawaiian–Emperor Hotspot Track: Inheriting the Mantle Wind. *Science*, 324. <http://www.mantleplumes.org/WebDocuments/Tarduno2009.pdf> (дата звернення: 01.08.2019).
64. Timofeeff, M.N., Lowenstein, T.K., da Silva, M.A.M., Harris, N.B. 2006. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 1977–1994. <ftp://ftp.soest.hawaii.edu/engels/Stanley/Other/Тимофеефф-06.pdf> (дата звернення: 01.08.2019).
65. Torsvik, T.H., Gaina, C. and Redfield, T.F. 2008a. Antarctica and Global Paleogeography: From Rodinia, Through Gondwanaland and Pangea, to the Birth of the Southern Ocean and the Opening of Gateways. In: Cooper, A. K., P. J. Barrett, H. Stagg, B. Storey, E. Stump, W. Wise, and the 10th ISAES editorial team, eds. *Antarctica: A Keystone in a Changing World. Proceedings of the 10th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*. Washington, DC: The National Academies Press, 125–140. http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12168&page=125 (дата звернення: 01.08.2019).
66. Torsvik, T.H., Müller, R.D., Van der Voo, R., Steinberger, B. and Gaina, C. 2008b. Global plate motion frames: toward a unified model. *Rev. Geophys.*, 46, 3 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007RG000227/abstract> (дата звернення: 01.08.2019).
67. Torsvik, T.H., van der Voo, R., Doubrovine, P.V., Burke, K., Steinberger, B., Ashwal, L.D., Trønnes, R.G., Webb, S.J. and Bull, A.L. 2014. Deep mantle structure as a reference frame for movements in and on the Earth. *PNAS*, 111 (24) 8735–8740. <https://www.pnas.org/content/111/24/8735> (дата звернення: 01.08.2019).
68. Vaughan, A.P.M. and Livermore, R.A. 2005. Episodicity of Mesozoic terrane accretion along the Pacific margin of Gondwana: implications for superplume–plate interactions. *Geological Society, London, Special Publications*. 246, 143–178. http://nora.nerc.ac.uk/4296/1/Episodicity_of_terrane_accretion.pdf (дата звернення: 01.08.2019).
69. Veevers, J.J., Walter, M.R. and Scheibner, E. 1997. Neoproterozoic Tectonics of Australia–Antarctica and Laurentia and the 560 Ma Birth of the Pacific Ocean Reflect the 400 m.y. Pangean Supercycle. *The Journal of Geology*, 105, 2, 225–242. <http://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/515914> (дата звернення: 01.08.2019).
70. Wannamaker, P.E., Stodt, J.A., Pellerin, L., Olsen, S.L. and Hall, D.B. 2004. Structure and thermal regime beneath the South Pole region, East Antarctica, from magnetotelluric measurements. *Geophys. J. Int.*, 157, 36–54. <http://adsabs.harvard.edu/full/2004GeoJI.157...36W> (дата звернення: 01.08.2019).
71. Weaver, S.D., Storey, B.C., Pankhurst, R.J., Mukasa, S.B., DiVenere, V.J., and Bradshaw, J.D. 1994. Antarctica–New Zealand rifting and Marie Byrd Land lithospheric magmatism linked to ridge subduction and mantle plume activity. *Geology*, 22, 9, 811–814. doi: 10.1130/0091-7613 (1994)022<0811:ANZRAM>2.3.CO;2. <http://geology.gsapubs.org/content/22/9/811.abstract> (дата звернення: 01.08.2019).
72. Winberry, J.P., Anandakrishnan, S. 2004. Marie Byrd Land hotspot. *Geology*, 32 (11), 977–980. doi: 10.1130/G20768.1. https://www.researchgate.net/publication/234039542_Crustal_structure_of_the_West_Antarctic_rift_system_and_Marie_Byrd_Land_hotspot (дата звернення: 01.08.2019).

REFERENCES

1. *Vse lavovyye ozera planety* [All lava lakes of the planet]. 2016. <http://fuckingnews.ru/travel/vse-lavovye-ozera-planety.html> (accessed: 01.08.2019).
2. Gilat A., Vol A. 2011. Primary hydrogen and helium are the most powerful source of energy for the Earth evolution, earthquakes, and volcanic eruptions. Israel Union of Repatriate Scientists. *Electron's scientific seminar*, <http://www.elektron2000.com/node/822> (accessed: 01.08.2019).

3. Gozhik, P.F., Greku, R.Kh., Bogillo, V.I., Bazylevska, M.S., Tkachenko, T.R., Greku, K.Yu. 2019. The main research directions of the department of geology and geocology of the Antarctic of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine. *Geol. zhurn.*, 1 (366), 5–26.
4. Goncharov M.A. 2007. Kinematic model of continental drift as a reason for the expansion of the southern and reduction of the northern hemispheres of the Earth. *Rotational processes in geologists and physics*. Ed. E.E. Milanovsky. M.: KomKniga, c. 279–286. <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-rotacionnye-processy.pdf> (accessed: 01.08.2019).
5. Goncharov M.A., Lubnina N.V., Raznitsin Yu.N., Barkin Yu.V. 2012. Contribution of the cyclic meridional component of continental drift to the evolution of Earth's supercontinents: global paleomagnetic geodynamics. *Scientific Conference Lomonosov Readings, Moscow State University, April 2012, Section of Geology*. http://geo.web.ru/pubd/2012/06/01/0001186421/pdf/goncharov_et_al_2012.pdf (accessed: 01.08.2019).
6. Greku R.Kh., Bondar K.M. 2003. Algorithm and mathematical modeling of the density structure of the Earth's interior according to the geoid. *Geoinformatics*, 2, 66–69.
7. Greku, R.Kh., Gozhik, P.F., Litvinov, V.A., Usenko, V.P., Greku, T.R. 2009. Atlas of the Antarctic deep structure with the gravimetric tomography. *Ukrainian Antarctic Journal*, 8, 32–35. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/128547/07-Greku.pdf?sequence=1> (accessed: 01.08.2019).
8. Greku, R.Kh., Greku, T.R. 2009. Deep Structure of the Antarctic Plate's Boundary Zone Along Mid-Ocean Ridges on the Cross-Sections and Lateral Slices. *Ukrainian Antarctic Journal*, 8, 88–94.
9. Grushinskiy A.N., Stroyev, P.A., Koryakin, Ye.D., 2004. Stroyeniye litosfery Antarktiki i yeye izostatcheskoye sostoyaniye [The structure of the lithosphere of Antarctica and its isostatic state]. *Otechestvennaya geologiya*, 2, 30–36.
10. Kuz'min, M.I., Yarmolyuk, V.V. 2011. Glubinnaya geodinamika, ili kak rabotayet mantiya Zemli [Deep Geodynamics, or How the Earth's Mantle Works]. *Nauka iz pervykh ruk* [Science First Hand], 42, 6. <https://scfh.ru/papers/glubinnaya-geodinamika-geodinamika-ili-kak-rabotaet-mantiya-zemli/> (accessed: 01.08.2019).
11. Orovetskiy, YU.P., Kobolev, V.P. 2008. Svyaz' geostruktur glavnykh poverkhnostey Zemli [Connection of geostructures of the main surfaces of the Earth]. *Svyaz' poverkhnostnykh struktur zemnoy kory s glubinnymi. Mat-ly XIV MK*. [Relationship between the surface and deep structures of the earth's crust. Proceedings of the 14th International Conference, 27–31 October, 2008]. Petrozavodsk, 27–31.10.2008. CH. 1, 99–102. www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/svyaz_poverhn_strukt2.pdf (accessed: 01.08.2019).
12. Teterin, D.Ye. 2008. *Bottom relief, deep structure and geodynamics of transitional zones of West Antarctica.*: author's abstract for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences. Moscow. 50. <https://www.twirpx.com> (accessed: 01.08.2019).
13. Tyapkin, K.F. 2014. A new view on geotectogenesis caused by a change in a position of the earth's tectonosphere about its axis of rotation. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*, 1, 5–19. <https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-vzglyad-na-geotektogenez-obuslovlennyy-izmeneniem-polozheniya-tektonosfery-zemli-otnositelno-osi-ee-vrascheniya> (accessed: 01.08.2019).
14. *Ekosistemy i blagosostoyaniye cheloveka. Sintez* [Ecosystems and Human Well being: Synthesis]. 2005. Doklad mezhdunarodnoy programmy Otsenka ekosistem na poroge tysyacheletiya (OE) [Millennium Ecosystem Assessment]. Island Press, Washington, DC. 138. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.791.aspx.pdf> (accessed: 01.08.2019).
15. Abbot, D.H. and Isley Ann, E. 2002. The intensity, occurrence, and duration of superplume events and eras over geological time. *J. Of Geodynamics*, 34 (2), 265–307. doi: 10.1016/S0264-3707(02)00024-8. https://www.researchgate.net/publication/240430428_The_intensity_occurrence_and_duration_of_superplume_events_and_eras_over_geological_time (accessed: 01.08.2019).
16. Bialas, R. 2007. The Transantarctic Mountains. *TransAntarctic Mountains TRANSition Zone (TAM TRANZ Project)*. In Elliot, D.H., Lyons, W.B. and Everett L.R. TransAntarctic Mountains TRANSition Zone (TAM TRANZ Project): Multidisciplinary Research in the Central and Southern Transantarctic Mountains. Byrd Polar Research Center, Miscellaneous Series 430, Byrd Polar Research Center, The Ohio State University, Columbus, OH., 99 pages. http://bprc.osu.edu/workshops/tam_2006/report_final.pdf (accessed: 01.08.2019).
17. Bialas, R.W., Buck, W.R. Studinger, M., Fitzgerald, P.G. 2007. Plateau collapse model for the Transantarctic Mountains–West Antarctic Rift System: Insights from numerical experiments. *J. Geology*, 35; 8, 687–690. doi:10.1130/G23825A.1. <http://www.geology.cwu.edu/facstaff/huerta/g501/pdf/Bialas2007.pdf> (accessed: 01.08.2019).
18. Breitsprecher, K., Thorkelson, D.J. 2009. Neogene kinematic history of Nazca–Antarctic–Phoenix slab windows beneath Patagonia and the Antarctic Peninsula. *Tectonophysics*, 464, 1–4, 10–20. <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S0040195108001054> (accessed: 01.08.2019).
19. Cande, C.S., Raymond, C.A., Stock, J., Haxby, W.F. 1995. Geophysics of the Pitman Fracture Zone and Pacific–Antarctic Plate Motion During the Cenozoic. *Science*, 270, 947–953.
20. Choudhuri, M. and Nemčok, M. 2017. Chapter 2. Plumes and Hotspots. In: *Mantle Plumes and Their Effects*.

- Springer Briefs in Earth System Sciences*, X, 137. 19–42. doi: 10.1007/978-3-319-44239-6_2. http://www.springer.com/978-3-319-44239-6_2 (accessed: 01.08.2019).
21. Condie, K.C. 2001. *Mantle plumes and their records in Earth history*. Cambridge University Press, 320. www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-condiemantleplumes2001.pdf (accessed: 01.08.2019).
 22. Condie, K.C. 2005. *Earth as an Evolving Planetary System*. Elsevier, 350. https://books.google.com.ua/books/about/Earth_as_an_Evolving_Planetary_System.html?id=I_t-hUWi518C&redir_esc=y (accessed: 01.08.2019).
 23. Courtillot, V., Davaille, A., Besse, J., and Stock, J. 2008. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 205, 295–308. http://www.olegyakupov.com/Translations/Three_Distinct_Types_Hotspots_RU.htm (accessed: 01.08.2019).
 24. Expedition 330 Scientists, 2011. Louisville Seamount Trail: implications for geodynamic mantle flow models and the geochemical evolution of primary hotspots. *IODP Prel. Rept.*, 330. doi:10.2204/iodp.pr.330.2011. 174. http://publications.iodp.org/preliminary_report/330/330PR.PDF (accessed: 01.08.2019).
 25. Finn, C.A., Müller, R.D. and Panter, K.S. 2005. A Cenozoic diffuse alkaline magmatic province (DAMP) in the southwest Pacific without rift or plume origin. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 6, Q02005. doi: 10.1029/2004GC000723. <http://www.agu.org/journals/ABS/2005/2004GC000723.shtml> (accessed: 01.08.2019).
 26. Fitzgerald, P.G., Studinger, M., Bialas, R.W., Buck, W. 2007a. Geological and Tectonic Evidence for the Formation and Extensional Collapse of the West Antarctic Plateau: Implications for the Formation of the West Antarctic Rift System and the Transantarctic Mountains. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract #T41A-0378*. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2007AGUFM.T41A0378F> (accessed: 01.08.2019).
 27. Fitzgerald, P.G., Bialas, R.W., Buck, W.R. and Studinger, M. 2007b. A plateau collapse model for the formation of the West Antarctic rift system/Transantarctic Mountains, in Antarctica. *A Keystone in a Changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES X*, edited by A. K. Cooper and C. R. Raymond et al. USGS Open-File Report 2007-1047, Extended Abstract 087, 4 (accessed: 01.08.2019).
 28. Goncharov, M.A., Raznitsin, Yu.N., Barkin, Yu.V. 2012. Specific features of deformation of the continental and oceanic lithosphere as a result of the Earth core northern drift. *Geodynamics & Tectonophysics*, 3, 1, 27–54. doi: 10.5800/GT-2012-3-1-0060. https://www.researchgate.net/publication/272729790_Specific_features_of_deformation_of_the_continental_and_oceanic_lithosphere_as_a_result_of_the_Earth_core_northern_drift (accessed: 01.08.2019).
 29. Greku, R.Kh., Usenko, V.P. and Greku, T.R. 2006. Geodynamic Features and Density Structure of the Earth's Interior of the Antarctic and Surrounded Regions with the Gravimetric Tomography Method. In: Fütterer D.K., Damaske D., Kleinschmidt G., Miller H., Tessensohn F. (eds). *Antarctica*. Springer Berlin Heidelberg. Theme 7, 369–375. doi: 10.1007/3-540-32934-X. https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-32934-X_46 (accessed: 01.08.2019).
 30. Greku, R.Kh., Gozhik, P.F., Litvinov, V.A., Usenko, V.P., Greku, T.R. 2009. *Atlas of the Antarctic deep structure with the Gravimetric Tomography*. Kiev, 67.
 31. Grimm, N.B, F.S. Chapin, III, Bierwagen, B., Gonzalez, P., Groffman, P.M., Luo, Y., Melton, F., Nadelhoffer, K., Pairis, A., Raymond, P.A., Schimel, J., and Williamson, C. E. 2013. The impacts of climate change on ecosystem structure and function. *Front Ecol Environ.*, 11(9), 474–482. doi:10.1890/120282. <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/120282> (accessed: 01.08.2019).
 32. Gupta, S., Zhao, D., Rai, S.S. 2009. Seismic imaging of the upper mantle under the Erebus hotspot in Antarctica. *Gondwana Research.*, 16, 1, 109–118.
 33. Gurnis, M. and Müller, R. D. 2003. Origin of the Australian–Antarctic Discordance from an ancient slab and mantle wedge. *Geol. Soc. Australia. Spec. Publ.* 22, and *Geol. Soc. America.*, 372, 417–429. https://www.researchgate.net/publication/235997954_Origin_of_the_Australian-Antarctic_Discordance_from_an_ancient_slab_and_mantle_wedge (accessed: 01.08.2019).
 34. Hansen, S.E., Graw, J.H., Kenyon, L.M., Nyblade, A. A., Wiens, D.A., Aster, R.C., Huerta, A.D., Anandakrishnan, S., and Wilson, T. 2014. Imaging the Antarctic mantle using adaptively parameterized P-wave tomography: Evidence for heterogeneous structure beneath West Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, 408, 66–78. http://epsc.wustl.edu/seismology/doug/wpcontent/uploads/2017/10/Hansen_et_al_EPSL_2014.pdf (accessed: 01.08.2019).
 35. Harries, P.J. and Little, C.T.S. 2015. The early Toarcian (Early Jurassic) and the Cenomanian-Turonian (Late Cretaceous) mass extinctions: similarities and contrasts. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 154, 39–66. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018299000863?via%3Dihub> (accessed: 01.08.2019).
 36. Huerta, A.D. 2007. Byrd drainage system: evidence of a Mesozoic West Antarctic Plateau, in Antarctica. *A Keystone in a changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES X*. ed. by A. Cooper and C. Raymond et al., USGS Open-File Report 2007-1047, Extended Abstract 091, 5. https://www.researchgate.net/publication/228491254_Byrd_drainage_system_evidence_of_a_Mesozoic_West_Antarctic_Plateau (accessed: 01.08.2019).
 37. Koppers A.A.P., Duncan, R.A., Steinberger, B. 2004. Implications of a nonlinear 40Ar/39Ar age progression along the Louisville seamount trail for models of fixed

- and moving hot spots. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems.*, 5, 6. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003GC000671/abstract> (accessed: 01.08.2019).
38. Larson, R.L. 1991a. Latest pulse of Earth; evidence for a Mid-Cretaceous super plume. *Geology*, 19, 6, 547–550. https://websites.pmc.ucsc.edu/~rcoe/eart206/Larson_superplume1_Geology91.pdf (accessed: 01.08.2019).
 39. Larson, R.L. 1991b. Geological consequences of superplumes. *Geology*, 19, 10, 963–966. <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/19/10/963/205223/geological-consequences-of-superplumes?redirectedFrom=fulltext> (accessed: 01.08.2019).
 40. Li, Z.X., Zhong, S. 2009. Supercontinent-superplume coupling, true polar wander and plume mobility: plate dominance in whole-mantle tectonics. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 176, 143–156. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009PEPI..176..143L/abstract>.
 41. Luyendyk, B.P. 1995. Hypothesis for Cretaceous rifting of east Gondwana caused by subducted slab capture. *Geology*, 23, 373–376. http://www.geol.ucsb.edu/faculty/luyendyk/Luyendyk_pdf/LuyendykGEOL'95.pdf (accessed: 01.08.2019).
 42. Luyendyk, B.P., Sorlien, C.C., Wilson, D.S., Bartek, L.R., Siddoway, C.S. 2001. Structural and tectonic evolution of the Ross Sea rift in the Cape Colbeck region, Eastern Ross Sea, Antarctica. *Tectonics*, 20, 6, 933–958. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2002GC000462> (accessed: 01.08.2019).
 43. Luyendyk, B.P., Wilson, D.S. and Siddoway, C.S. 2003. Eastern margin of the Ross Sea Rift in western Marie Byrd Land, Antarctica: Crustal structure and tectonic development. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4(10), 1090. doi: 10.1029/2002GC000462. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GC000462> (accessed: 01.08.2019).
 44. Manda, M., Holme, R., Pais, A., Pinheiro, K., Jackson, A., Verbanac, G. 2010. Geomagnetic Jerks: Rapid Core Field Variations and Core Dynamics. *Space Sci Rev.*, 155, 147–175. doi: 10.1007/s11214-010-9663-x. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11214-010-9663-x> (accessed: 01.08.2019).
 45. Matthews, K.J., Seton, M., Müller, R.D. 2012. A global-scale plate reorganization event at 105–100 Ma. *Earth and Planetary Science Letters*, 355–356, 283–298. https://www.researchgate.net/publication/258465505_Was_there_a_global-scale_plate_reorganisation_event_at_100_Ma (accessed: 01.08.2019).
 46. Matthews, K.J., Seton, M., Müller, R.D. 2011. Was there a global-scale plate reorganization event at 100 Ma? *American Geophysical Union. Fall Meeting 2011*, abstract id. T23D-2446. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFM.T23D2446M> (accessed: 01.08.2019).
 47. Montelli, R., Nolet, G., Dahlen, F.A., and Masters, G. 2006. A catalogue of deep mantle plumes: New results from finite-frequency tomography. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 7, 11. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006GC001248/full> (accessed: 01.08.2019).
 48. Orosei, R., Lauro, S.E., Pettinelli, E. A., Cicchetti, M., Coradini, B., Cosciotti, F., Di Paolo et al. 2018. Radar evidence of subglacial liquid water on Mars. *Science*, 361, 6401, 490–493. <http://science.sciencemag.org/content/361/6401/490> (accessed: 01.08.2019).
 49. Ramirez, C., Nyblade, A., Emry, E.L., Julia, J., Sun, X., Anandkrishnan, S., Wiens, D.A., Aster, R.C., Huerta, A.D, Winberry, P., Wilson, T. 2017. Crustal structure of the Transantarctic Mountains, Ellsworth Mountains and Marie Byrd Land, Antarctica: constraints on shear wave velocities, Poisson's ratios and Moho depths. *Geophysical Journal International*, 211, 3, 1328–1340. <https://academic.oup.com/gji/article-abstract/211/3/1328/4064366> (accessed: 01.08.2019).
 50. Ritsema, J., Allen, R.M. 2003. The elusive mantle plume. *Earth and Planetary Science Letters*, 207, 1–12. <https://rallen.berkeley.edu/pub/2002ritsema/RitsemaAllen-PlumesEPSL2003.pdf> (accessed: 01.08.2019).
 51. Russo, R.M., VanDecar, J.C., Comte D. et al. 2010. Subduction of the Chile Ridge: Upper mantle structure and flow. *GSA Today*, 20, 9, 4–10. doi: 10.1130/GSATG61A.1. <http://www.geosociety.org/gsatoday/archive/20/9/pdf/i1052-5173-20-9-4.pdf> (accessed: 01.08.2019).
 52. Siddoway, C. S., Sass, L. C. and Esser, R. P. 2005. Kinematic history of western Marie Byrd Land, West Antarctica: direct evidence from Cretaceous mafic dykes. *Geological Society. London, Special Publications*, 246(1), 417–438. <http://sp.lyellcollection.org/content/246/1/417/abstract> (accessed: 01.08.2019).
 53. Siddoway, C.S. 2008. Tectonics of the West Antarctic Rift System: New Light on the History and Dynamics of Distributed Intracontinental Extension. *Antarctica: A Keystone in a Changing World. Proceedings of the 10th International Symposium on Antarctic Earth Science*. Cooper, A. K., Barrett, P. J., Stagg H. et al. Washington, DC: The National Academies Press, 91–114. http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=12168&page=101 (accessed: 01.08.2019).
 54. Sourkhabi, R. 2009. Mid Cretaceous Source Rock Enigma. *GeoExPro*, 6, 5, 24–30. <http://www.geoexpro.com/articles/2009/05/mid-cretaceous-source-rock-enigma> (accessed: 01.08.2019).
 55. Spasojevic, S., Gurnis, M. and Sutherland, R. 2010a. Mantle upwellings above slab graveyards linked to the global geoid lows. *Nature Geoscience*, 3, 435–438. https://www.academia.edu/25286200/Mantle_upwellings_above_slab_graveyards_linked_to_the_global_geoid_lows (accessed: 01.08.2019).
 56. Spasojevic, S., Gurnis, M. and Sutherland, R. 2010b. Inferring mantle properties with an evolving dynamic mod-

- el of the Antarctica-New Zealand region from the Late Cretaceous. *J. Geophys. Res.*, 115. B05402. doi:10.1029/2009JB006612. <http://authors.library.caltech.edu/18551/> (accessed: 01.08.2019).
57. Storey, B.C. 1993. Tectonic controls on Gondwana break-up models: evidence from the proto-Pacific margin of Antarctica and the southern Andes. *Second ISAG*. Oxford (UK), 21–23.09.1993, 551–554. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques2/38492.pdf (accessed: 01.08.2019).
58. Storey, B.C., Vaughan, A.P.M. and Riley, T.R. 2013. The links between large igneous provinces, continental break-up and environmental change: evidence reviewed from Antarctica. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 104(1), 17–30. <http://nora.nerc.ac.uk/502766/1/TRAES04%20%281300011%29%20-%20First%20proof%20%282%29.pdf> (accessed: 01.08.2019).
59. Storey, B.C., Leat, P.T., Weaver, S.D., Pankhurst, R.J., Bradshaw, J.D. and Kelley, S. 1999. Mantle plumes and Antarctica–New Zealand rifting; evidence from Mid-Cretaceous mafic dykes. *Journal of the Geological Society of London*, 156, 4, 659–671. <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1047741860> (accessed: 01.08.2019).
60. Sutherland, R., Spasojevic, S. and Gurnis, M. 2010. Mantle upwelling after Gondwana subduction death explains anomalous topography and subsidence histories of eastern New Zealand and West Antarctica. *Geology*, 38, 155–158. doi:10.1130/G30613.1. <http://geology.gsapubs.org/content/38/2/155.abstract> (accessed: 01.08.2019).
61. Suzuki, N., Utsunomiya A., Maruyama S. 2001. The History of the Pacific Superplume. *American Geophysical Union, Fall Meeting*, abstract #T42A-0917. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2001AGUFM.T42A0917S/abstract> (accessed: 01.08.2019).
62. Timm, Chr., Bassett, D., Graham, I.J., Leybourne, M.I., de Ronde, C.E.J., Woodhead, J., Layton-Matthews, D. and Watts, A.B. 2013. Louisville seamount subduction and its implication on mantle flow beneath the central Tonga–Kermadec arc. *Nature Communications*, 4, Article number: 1720. doi:10.1038/ncomms2702. <https://www.nature.com/articles/ncomms2702> (accessed: 01.08.2019).
63. Tarduno, J., Bunge, H.-P., Sleep, N., Hansen, U. 2009. The Bend Hawaiian–Emperor Hotspot Track: Inheriting the Mantle Wind. *Science*, 324. <http://www.mantleplumes.org/WebDocuments/Tarduno2009.pdf> (accessed: 01.08.2019).
64. Timofeeff, M.N., Lowenstein, T.K., da Silva, M.A.M., Harris, N.B. 2006. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 1977–1994. <ftp://ftp.soest.hawaii.edu/engels/Stanley/Other/Timofeeff-06.pdf> (accessed: 01.08.2019).
65. Torsvik, T.H., Gaina, C. and Redfield, T.F. 2008a. Antarctica and Global Paleogeography: From Rodinia, Through Gondwanaland and Pangea, to the Birth of the Southern Ocean and the Opening of Gateways. In: Cooper, A. K., P. J. Barrett, H. Stagg, B. Storey, E. Stump, W. Wise, and the 10th ISAES editorial team, eds. *Antarctica: A Keystone in a Changing World. Proceedings of the 10th International Symposium on Antarctic Earth Sciences*. Washington, DC: The National Academies Press, 125–140. http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12168&page=125 (accessed: 01.08.2019).
66. Torsvik, T.H., Müller, R.D., Van der Voo, R., Steinberger, B. and Gaina, C. 2008b. Global plate motion frames: toward a unified model. *Rev. Geophys.*, 46, 3 <http://online.library.wiley.com/doi/10.1029/2007RG000227/abstract> (accessed: 01.08.2019).
67. Torsvik, T.H., van der Voo, R., Doubrovine, P.V., Burke, K., Steinberger, B., Ashwal, L.D., Trønnes, R.G., Webb, S.J. and Bull, A.L. 2014. Deep mantle structure as a reference frame for movements in and on the Earth. *PNAS*, 111 (24) 8735–8740. <https://www.pnas.org/content/111/24/8735> (accessed: 01.08.2019).
68. Vaughan, A.P.M. and Livermore, R.A. 2005. Episodicity of Mesozoic terrane accretion along the Pacific margin of Gondwana: implications for superplume–plate interactions. *Geological Society*, London, Special Publications. 246, 143–178. http://nora.nerc.ac.uk/4296/1/Episodicity_of_terrane_accretion.pdf (accessed: 01.08.2019).
69. Veevers, J.J., Walter, M.R. and Scheibner, E. 1997. Neoproterozoic Tectonics of Australia–Antarctica and Laurentia and the 560 Ma Birth of the Pacific Ocean Reflect the 400 m.y. Pangean Supercycle. *The Journal of Geology*, 105, 2, 225–242. <http://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/515914> (accessed: 01.08.2019).
70. Wannamaker, P.E., Stodt, J.A., Pellerin, L., Olsen, S.L. and Hall, D.B. 2004. Structure and thermal regime beneath the South Pole region, East Antarctica, from magnetotelluric measurements. *Geophys. J. Int.*, 157, 36–54. <http://adsabs.harvard.edu/full/2004GeoJI.157...36W> (accessed: 01.08.2019).
71. Weaver, S.D., Storey, B.C., Pankhurst, R.J., Mukasa, S.B., DiVenere, V.J., and Bradshaw, J.D. 1994. Antarctica–New Zealand rifting and Marie Byrd Land lithospheric magmatism linked to ridge subduction and mantle plume activity. *Geology*, 22, 9, 811–814. doi: 10.1130/0091-7613(1994)022<0811:ANZRAM>2.3.CO;2. <http://geology.gsapubs.org/content/22/9/811.abstract> (accessed: 01.08.2019).
72. Winberry, J.P., Anandkrishnan, S. 2004. Marie Byrd Land hotspot. *Geology*, 32 (11), 977–980. doi: 10.1130/G20768.1. https://www.researchgate.net/publication/234039542_Crustal_structure_of_the_West_Antarctic_rift_system_and_Marie_Byrd_Land_hotspot (accessed: 01.08.2019).

V. P. Usenko, R. Ch. Greku*

Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Ukraine,
55B O. Gonchara Str., Kyiv, 01054, Ukraine

* Corresponding author: usenko.v@ukr.net

SUPERPLUME IN THE ANTARCTIC SECTOR OF THE PACIFIC: POSITION, GENESIS, AGE

The study of the Earth structure and geodynamic is one of constitutive purposes of Earth sciences. **The aim** of our article is to describe Ross superplume that was discovered in the southwestern part of the Pacific Ocean near and under the western margin of Antarctica. This plume was not mentioned in seismic tomographic literature and in catalogs. Ross superplume was detected by **gravimetric tomography method** that was developed by Rudolf Greku in Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Ukraine. Authors used gravitomography data to describe the complex geometry of the superplume, evidences of the segmental collapse of the Paleo-Pacific slab (one of them to a depth of 4800 km), and its location within the pre-existing geothermal convective flow, under the influence of which the southwestern part of the Pacific Ocean, West Antarctica and the western part of East Antarctica are still located. **Main conclusions.** Combined effect of such factors as presence of geothermal inter-polar flux and enter of slab into the outer liquid core within this flux led to formation of superplume. Two different parts of Ross superplume were formed in different structural-density conditions of lithospheric lower-mantle: the southern part was formed near and under the Antarctic obduction margin; the northern part was formed beneath the oceanic lithosphere. Ross superplume formation happened simultaneously with the 100 Ma event of the global reorganization of lithospheric structures, which drivers are poorly understood yet. We suppose that trigger of this event was explosive formation of Ross superplume. Our results were interpreted using available open literature data about this region and they do not contradict existing understanding of geodynamic history of the region.

Keywords: Ross superplume, Antarctica, Southwest Pacific, 100 Ma superplume event.