УДК 551.24

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПУЛЬСАЦИИ АКТИВНОСТИ ПЛЮМОВ И НАЛОЖЕННЫЙ НА ОКЕАНИЧЕСКУЮ ЛИТОСФЕРУ МАГМАТИЗМ

© 2025 г. С. Ю. Соколов^{1,} *, Н. П. Чамов¹, А. С. Абрамова¹

1 Геологический институт РАН, Пыжевский пер., д. 7, 119017 Москва, Россия

*e-mail: sysokolov@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.11.2024 г. После доработки 26.02.2025 г. Принята в печать 06.03.2025 г.

Взаимодействие подвижных литосферных плит и подходящих к поверхности мантийных плюмов, имеющих цикличный характер поступления магматического вещества, приводит к изменению геологогеофизических характеристик и появлению в океанах цепочек и компактных групп вулканов разного возраста. Данные о рельефе, аномалиях Буге и датировки пород подводных гор по трекам горячих точек в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах показывают наличие устойчивых временны́х ~1.5, ~3.7, ~4.5-7.5 и 10-12 млн лет периодов магматизма с питанием от разных суперплюмов. Эти значения соответствуют периодам максимумов спектральной плотности колебаний уровня моря. Одинаковый частотный набор этих явлений указывает на единый механизм и временную модуляцию активности в магмовыводящих каналах. Анализ времен экстремумов в треках указывает также на совместимость периодичности магматизма по фазе. Группы подводных магматических построек без треков движения плит в координатах возраста фундамента и аналитического возраста пород образуют в этой системе отсчета компактные, но разнесенные географически группы, в диапазоне всех возрастов фундамента в Атлантическом океане, и имеют длительность импульсов наложенного на фундамент магматизма от 20 до 60 млн лет. Этот и другие факты указывают на фиксированное положение подводящих каналов относительно Африканской плиты на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта в течение кайнозоя. Они обосновывают предположение об общем западном дрейфе литосферных плит и их смещении от питающего плюма. Импульсам магматизма, продолжающимся в настоящее время в различных частях Атлантики, предшествовала пауза магматизма от 20 до 60 млн лет. Анализ данных сейсмотомографии позволяет объяснить дискретное пространственно-временное распределение магматических импульсов сочетанием переменного режима вертикального поступления прогретого вещества с одновременным горизонтальным движением плит.

Ключевые слова: мантия, плюмы, литосфера, магматические постройки, возраст фундамента, импульсы магматизма, Срединно-Атлантический хребет, Большие Магматические провинции, Восточно-Тихоокеанское поднятие

DOI: 10.31857/S0016853X25010023, EDN: DAPMGE

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных открытий в глобальной геодинамике, сделанным на основании данных сейсмотомографии, являются мантийные плюмы субвертикальные области пониженных скоростей сейсмических волн, восходящие от границы ядро—мантия или от промежуточных мантийных областей, над которыми на поверхности литосферы установлены магматические постройки, указывающие на их связь с прогретым и частично расплавленным веществом [35].

Аномалии пониженных скоростей вдоль оси Срединно-Атлантического хребта (САХ) не имеют глубоких корней в нижней мантии. По данным [32] они имеют подошву, расположенную не глубже 120 км.

В период 1980-1990 гг. были получены данные сейсмотомографии, проведен их анализ, который показал, что под осью САХ и в плюмах происходят два разных вида мантийного апвеллинга – активный плюмовый и пассивный осевой, возникающий как декомпрессионный отклик на образование пространства для аккреции коры при расхождении литосферных плит от оси спрединга [35]. Эти факты об апвеллинге привели геологов к исследованию механизмов движения плит. Данная тема вновь обсуждается исследователями, что отражено в современной литературе [13], и остается не решенной из-за неизученных особенностей геодинамического воздействия плюмов на инициацию процессов тектоники плит и формирование тектонических структур на поверхности подвижной литосферы.

Исследование механизма движения литосферных плит, кроме тектонических процессов, затрагивает также физические аспекты планетарных процессов и энергетического баланса Земли, который должен содержать необходимую для реализации движения энергию [4, 5].

Действие плюмовых структур в дорифтовую, рифтовую и пострифтовую стадии продолжается с переменной интенсивностью вне зависимости от структурного типа перекрывающей мантию литосферы [29].

После начала формирования спрединговых сегментов в океанах следы воздействия плюмов представляют собой локализованное наложение глубинных термальных аномалий на поверхность океанической коры в виде групп магматических построек, называемых горячими точками [14].

По ним четко прослеживаются проекции глубинных плюмов на поверхность, векторы движения литосферной оболочки и вариации интенсивности воздействия на нее поступающих по глубинным каналам расплавов.

Анализ возраста кайнозойских магматических построек, расположенных дискретно в пространстве вдоль треков движения плит, показывает наличие характерных спектральных максимумов для периодов магматической активности ~20, ~10 и ~5 млн лет [29].

Причиной возникновения гармоник с этими периодами, общими для всех плит, являются процессы на границе ядро—мантия, от которой поднимаются два антиподальных суперплюма — Африканский и Тихоокеанский, по периферии которых на поверхности сформирована система горячих точек [29, 33].

Согласно [14], существует три типа горячих точек:

 – глубинные (с корнями около границы ядро– мантия);

промежуточные (с корнями в переходном слое 670 км);

- верхнемантийные.

Кроме того, отмечается, что важнейшим для геодинамики свойством некоторых горячих точек является трек из древних магматических построек, но существуют точки без трека с магматическими постройками, компактно расположенными над выходами плюмов к поверхности. Треки построек позволяют оценивать временны́е вариации магматических импульсов над горячими точками в различных современных океанах и планетарный режим пульсаций поступления глубинных расплавов [29].

Представляет сложность выявление длиннопериодной компоненты вариации, если основная последовательность в цепочке гор заполнена импульсами в первые миллионы лет, а интервалы в первые десятки миллионов лет замаскированы более короткими компонентами вариаций. Решением данной проблемы является анализ не только возраста и рельефа подводных гор, но и аномалий Буге, минимумы которых вместе со сглаженным рельефом указывают на общее повышение магматического дебета.

Возраст магматизма подводных гор в компактных внутриплитных группах без треков движения литосферы над глубинными плюмами не дает возможность напрямую оценивать периодичность магматических процессов.

Целью настоящей статьи является сопоставление данных подводных гор с возрастом спредингового фундамента по данным аномального магнитного поля, что позволяет проводить оценку геодинамической эволюции во времени для разрозненных магматических импульсов, наложенных на более древний фундамент и разделенных в пространстве на тысячи километров, при этом допускается, что внутри этих групп могут существовать небольшие короткопериодные последовательности мигрирующих магматических построек без связи с движением литосферы.

ВАРИАЦИИ ПЛЮМОВОГО МАГМАТИЗМА В ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ

До и после раскола суперконтинентов, а также при запуске спрединговых процессов формирования океанического пространства на литосферу вне зависимости от ее структурного типа и характера движения действует система плюмов, формирующая на поверхности литосферы наложенные магматические постройки. В случае суперконтинента Пангея раскол с последующим заложением рифтовой системы происходил в местах проекции глубинных плюмов на поверхность и сопровождался формированием Больших Магматических провинций (БМП) [15, 25].

Это являлось триггером для раскола суперконтинента Пангеи, который далее продолжался уже вне зон влияния Больших Магматических провинций на амагматичных сегментах рифтовой системы. По нашему мнению, это возможно только при наличии дополнительных механизмов, которые в пределах плит до срабатывания точечного триггера создают растягивающие напряжения, приводящие к расколу после инициирующего воздействия плюмов [4]. Плюмы отличаются периодичностью магматической активности, которая прослеживается как во времени, так и в пространстве [20, 29].

Анализ цикличности проявлений позднемезозойского плюмового магматизма без признаков треков в Арктике на островном и континентальном ее обрамлении показывает наличие пульсаций интенсивности магматических процессов с интервалом в среднем от 20 до 30 млн лет с максимумом на значении ~130 млн лет [8]. Аналогичный по возрасту максимум магматической активности ~132 млн лет отмечается в южном полушарии для Больших Магматических провинций Парана и Этендека [23]. Это еще раз указывает на синхронизацию геодинамической активности в планетарном масштабе, а также на наличие более длиннопериодных гармоник пульсации плюмов, чем ~20, ~10 и ~5 млн лет [29].

В работе [9] определены гармоники ~2 и ~16 млн лет, что в общих чертах указывает на сходство спектральных максимумов периодичности магматизма. Суперпозиция разных гармоник усложняет их анализ и поиск причин периодичности.

Данные сейсмотомографии для котловины к западу от Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП), которые имеют пространственное разрешение ~100 км, показывают наличие пространственной периодичности отрицательных аномалий вариаций скоростей на глубине астеносферы [20]. Это связано с пульсациями поступления прогретого вещества под Восточно-Тихоокеанское поднятие и расхождением астеносферного течения ортогонально поднятию.

Принимая среднюю полускорость спрединга в регионе ~8–10 см/год, получаем оценку периода пульсации активности плюма ~20–25 млн лет. Если принять допущение, что горизонтальные скорости спрединга, определяемые подлитосферным течением в астеносфере, должны быть согласованы со скоростями подъема вещества в прогретых объемах мантии, то содержание прогретого материала также должно модулироваться со сходной пространственно-временной периодичностью [7].

На сейсмотомографическом разрезе было показано, что эффективная ширина вертикальных ветвей суперплюмов, определяемая по уровню отклонений скоростей –0.5%, имеет вариацию, состоящую из 4-х циклов от границы ядро-мантия до поверхности [6].

ГЕОТЕКТОНИКА №1 2025

Принимая значение скорости апвеллинга ~8 см/год, получим временной период ~9 млн лет. Конфигурация вертикальных ветвей указывает на переменную ширину и амплитуду скоростных вариаций в них не только на ветвях Африканского, но и Тихоокеанского суперплюма, что поддерживает представление о переменном характере поступления вещества по плюмовым каналам во всем объеме мантии и объясняет появление пауз в магматической активности. Прерывистость проявлений восходящего потока мантии может быть обусловлена автоколебательным режимом подъема глубинного материала, обеспечившим импульсность его поступления на поверхность с интервалами в миллионы лет [34].

Периодичность поступления расплава при формировании океанического фундамента в отсутствие горячих точек также имеет место, например, для южного поперечного хребта разлома Вима в новейшем времени наблюдаются значения периода 3–4 млн лет [11]. Данный результат был получен при проведении детальной батиметрической и магнитометрической съемки объекта и плотной сети станций драгирования пород кристаллической части коры и верхней мантии, которые отсутствуют для большинства районов океана без признаков горячих точек. Был получен интервал в первые миллионы лет в спектре периодичности активности магматизма [11, 29].

Приведенные значения периодов пульсации интенсивности магматизма показывают существование устойчивого набора гармоник, характерного для Земли в планетарном масштабе, но дополнительным направлением исследования становится поиск наличия (или отсутствия) синхронизации фаз отдельных циклов.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для анализа треков и компактных групп магматических построек использовались данные по рельефу дна GEBCO на сетке 30" [21]. Они были сглажены и пересчитанные на сетку 1' из-за появления в версиях этого покрытия с 2014 г. мозаики многолучевых батиметрических наблюдений, создающих артефакты на границе с интерполированными областями [21].

Сопоставление рельефа дна осуществлялось с данными гравиметрии в редукции Буге на сетке 2' [10]. Этот вид данных привлекался для надежной характеризации минимумами аномалий магматических построек как объектов с увеличенной мощностью коры за счет более интенсивного магматизма в локальной области этих построек [4]. Выделение гор и хребтов на акватории Атлантики было проведено оконтуриванием по уровню их превышения над абиссальным фундаментом 1000 м (рис. 1).

Сначала рассчитывался сглаженный в окне 75 км рельеф и на его основе был получен остаточный рельеф, положительные аномалии которого указаны изобатой (см. рис. 1). Полученные компактные группы гор и хребтов концентрируются вдоль САХ, бортов трансформных разломов и в абиссальных котловинах. В данной работе мы рассматриваем только внутриплитные абиссальные горы, которые ассоциируются с Большими Магматическими провинциями в тех сегментах, где они выявлены и начали функционировать до раскола суперконтинента. Топографической основой для отображения гор и БМП служит возраст океанического фундамента, полученный по данным [30].

Данные опробования коренных пород на внутриплитном пространстве с определениями возрастов геохронологическими методами взяты из международной базы данных GEOROC [22]. Данные для гор Южной и Экваториальной Атлантики взяты из [3]. Данные для островов Зеленого Мыса взяты из [2]. Предполагается, что все определения возрастов не могут быть древнее возраста океанического фундамента, на котором сформированы внутриплитные магматические постройки. Приведено положение точек с определениями, отградуированные разницей между возрастом фундамента по данным аномального магнитного поля и возрастом, полученным по геохронологическим исследованиям образцов (рис. 2).

Там же показаны горячие точки по данным [14]. Почти все они подтверждены опробованием и определением возраста, включая вулканические постройки в пределах их треков. В качестве топографической основы использованы вариации сейсмических скоростей S-волн на глубине 100 км по данным модели SL2013sv [32], которые показывают наличие или отсутствие прогретой верхней мантии под компактными кластерами магматических построек.

Поле dV_s имеет отрицательные аномалии в прогретых и частично расплавленных зонах — осевой зоне САХ и в местах пересечения с ветвями Африканского суперплюма. В случае Исландии и Азорских островов ветви плюма пересекаются с САХ. Постройки в Бразильской котловине (частично), на Китовом хребте, Североамериканской, Иберийской и Гвинейской котловинах расположены над зонами холодной мантии (см. рис. 2).

Они обладают небольшой разницей возраста со спрединговым фундаментом, что показывает их субсинхронное формирование относительно начала спрединга. Магматизм над прогретыми зонами отображен на рис. 2 более крупными символами, указывающими на большую разницу между возрастом фундамента, расположенного вблизи окраин, и современным вулканизмом (см. рис. 2).

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Данные вдоль треков горячих точек

Для выявления сходства периодов и фаз пульсации магматизма в океанических сегментах Земли мы провели сравнение треков горячих точек в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах. Горячие точки представлены в пространстве линейными цепочками магматических гор, которые формируются при движении литосферной плиты над выходом мантийного плюма к поверхности. Горы Императорского хребта имеют от Гавайских островов до точки разворота постоянные значения глубин ниже уровня моря, плавно увеличивающиеся к северу до ~2500 м по мере развития изостатических и термальных процессов, и расположены со средним шагом 150 км (рис. 3, а, б).

При средней скорости перемещения плиты над точкой ~8.8 см/г период их формирования составляет ~1.7 млн лет [9, 18] (см. рис. 3, в). Рельеф гор указывает на действие псевдопериодических магматических импульсов, которые связаны с поступлением глубинных расплавов, но выдержанная в пространстве высокочастотная геометрия гористого рельефа вдоль трека маскирует более длиннопериодные вариации интенсивности магматизма.

Эти вариации вдоль активных океанских магматических систем, как правило, приводят к формированию локально более мощной базальтовой коры с максимумами рельефа и минимумами в аномалиях Буге, имеющих в плане размеры в десятки и первые сотни километров [4].

Профиль рельефа, построенный изначально по данным батиметрии на сетке 0.5 дуговой минуты, для устранения высокочастотных неоднородностей был сглажен в плавающем окне 111 км [21] (см. рис. 3, а).



Рис. 1. Горы и хребты Атлантического океана с превышением над абиссальным основанием ~1000 м (по данным [12, 19, 29]).

1 – горы и хребты; 2 – Большие Магматические Провинции

ГЕОТЕКТОНИКА №1 2025



ГЕОТЕКТОНИКА №1 2025

Рис. 2. Вариации сейсмических скоростей S-волн на глубине 100 км (по данным модели SL2013sv [31]), горячие точки (по данным [13]) и точки с полученными данными опробования коренных пород на внутриплитном пространстве, отградуированные разницей между возрастом фундамента по данным аномального магнитного поля и возрастом, полученным по геохимическим исследованиям образцов.

Обозначены (арабские цифры жирным шрифтом) группы внутриплитных магматических гор с определением возраста (Атлантический океан):

1 – острова Исландии, арх. Азорские острова, о. Св. Елены, о. Гоф, о. Тристан-да-Кунья;

2 — Камерунская линия; 3 — Бразильская котловина ("холодная" мантия); 4 — арх. Острова Зеленого Мыса (Западная Африка) и Канарские острова (северо-западное побережье Африки); 5 — Бермудские острова; 6 — горы Новой Англии; 7 — Иберийская котловина; 8 — горы Батиметристов (восточная окраина Экваториальной Атлантики); 9 — Бразильская котловина ("горячая" мантия); 10 — Китовый хребет.

1 – горячие точки; *2* – аналитический возраст пород с подводных гор вне оси САХ, отградуированный от 0 до 178 млн лет

Это привело к проявлению очевидной отрицательной корреляции рельефа с аномалиями Буге, — эта корреляция имеет геофизически обоснованную интерпретацию (см. рис. 3, а).

Количественная оценка интервалов возраста между проявившимися максимумами рельефа показывает их плотное распределение со средними значениями ~5–7 млн лет (см. рис. 3, г).

Таким образом, вдоль трека Императорского хребта выделяются значения периодов магматической активности и времена их максимумов, сходные с выявленными ранее значениями для других магматических систем.

Данные для Восточно-Индийского хребта были обработаны и показаны по принципу, аналогичному для трека Императорского хребта (рис. 4, б).

Были построены первичный и сглаженный профили рельефа дна, аномалий Буге и реперных возрастов магматических пород со скоростями смещения плиты над горячей точкой по данным [16, 17, 31] (см. рис. 4, а).

Отрицательная корреляция сглаженного рельефа и аномалий Буге, показывающих плотностные вариации в коре и верхней мантии, и наращивание рельефа за счет высокопродуктивного магматизма в данном треке от горячей точки Кергелен четко показывает вариации интенсивности плюмового магматизма и резкий дрейф Индо-Австралийской плиты к северу от горячей точки ~40 млн лет назад, выразившийся в прекращении формирования магматических построек на внутриплитном пространстве (см. рис. 4, а).

Другой особенностью вариаций магматического рельефа вдоль Восточно-Индийского хребта является незначительное смещение его высокочастотного периода до значений 1.4 млн лет по сравнению с 1.7 млн лет на Императорском хребте (см. рис. 3, в; см. рис. 4, в). Главной особенностью является сохранение сглаженного периода интенсивности ~4.5 млн лет при значении, близком к широкому максимуму 5–7 млн лет в Тихоокеанском треке (см. рис. 3, г; см. рис. 4, г).

Показаны почти идентичные значения возраста со средним отклонением 1.3 млн лет, что подтверждает фазовую совместимость в геологическом времени магматических процессов с одинаковыми превалирующими периодами (см. рис. 4, а; см. рис. 3, а).

Однако отметим, что трек Императорского хребта между совпавшими с Восточно-Индийским хребтом реперными максимумами содержит промежуточные максимумы с более короткими периодами (см. рис. 3, г).

Данные для Китового хребта также были обработаны и показаны по способу, аналогичному для других треков (рис. 5, б).

Первичный и сглаженный профили рельефа дна и аномалий Буге были сопоставлены с полученными данными по возрасту магматических пород с учетом скоростей смещения плиты над горячей точкой островов о. Тристан-да-Кунья и о. Гоф [28] (см. рис. 5, а).

Особенностью трека Китового хребта является его распад на несколько ветвей после 70 млн лет и резкий рост интенсивности магматизма начиная с 40 млн лет. Линия профиля в нашей работе была выбрана так, чтобы ее траектория проходила по наиболее плотной локации определений возраста (см. рис. 5).

Отрицательная корреляция сглаженного рельефа и аномалий Буге в треке от горячей точки в паре островов о. Тристан-да-Кунья и о. Гоф в Южной Атлантике ярко выражена. Она иллюстрирует очевидные вариации интенсивности плюмового магматизма юго-западного ответвления Африканского суперплюма, частью кото-



Рис. 3. Сопоставление геолого-геофизических параметров вдоль трека Императорского хребта от горячей точки Гавайских остовов в северо-западной части Тихого океана (по данным [10, 18, 21]).

(а) — Профиль рельефа дна со сглаженным в 111 км плавающем окне профиля (линия синим); аномалии (линия красным); возраст (млн лет) максимумов совпадения: с Восточно-Индийским хребтом 90° в.д. (стрелки черным), с Китовым хребтом в Южной Атлантике (стрелки синим);

(б) – рельеф дна Северо-Западной части Тихого океана и положение профиля трека Императорского хребта;

(в) — гистограмма возрастных интервалов между подводными горами, полученных привязкой к линейно интерполированным значениям между реперными датировками в сегментах с разной скоростью;

(г) — гистограмма возрастных интервалов между максимумами сглаженного рельефа, полученных привязкой к линейно интерполированным значениям между реперными датировками.

рого является также и горячая точка Кергелен. Особенностью вариаций магматического рельефа вдоль Китового хребта является бимодальное распределение высокочастотных неотфильтрованных периодов со значениями 1.4 и 3.6 млн лет и их перекрытие с отфильтрованными данными со значениями 3.8 и 7.4 млн лет (см. рис. 5, в, г). По нашему мнению, это указывает на повышенную интенсивность магматизма в период 3.6–3.8 млн лет, которая сопоставима с процессами более длинных периодов. Сопоставление максимумов сглаженной интенсивности с максимумами в треке Индийского океана и в Тихоокеанском треке показывает хорошее совпадение с макси-



Рис. 4. Сопоставление геолого-геофизических параметров вдоль трека Восточно-Индийского хребта 90° в.д. от горячей точки Кергелен от возраста 40 млн лет (по данным [16, 17, 21, 31]).

(а) – Профиль рельефа дна (линия синим) со сглаженным в 111 км в плавающем окне профиля (линия красным); возраст (млн лет) максимумов совпадения с Императорским хребтом (стрелки черным);

(б) – рельеф дна Восточной части Индийского океана и положение трека Восточно-Индийского хребта (90° в.д.); (в) - гистограмма возрастных интервалов между подводными горами, полученных привязкой к линейно интерполированным значениям между реперными датировками в сегментах с разной скоростью;

(г) – гистограмма возрастных интервалов между максимумами сглаженного рельефа, полученных привязкой к линейно интерполированным значениям между реперными датировками.

мумами в диапазоне ~2 млн лет (см. рис. 3, а; см. рис. 4, а; см. рис. 5, а).

Трек Императорского хребта при сопоставлении с Восточно-Индийским хребтом и Китовым хребтом содержит сходные промежуточные максимумы (см. рис. 3, г).

Данные о подводных горах без треков движения плит

Подводные горы в Атлантике, кроме гряды с нулевым возрастом вдоль оси САХ и поднятий вдоль бортов трансформных разломов, представлены компактными внутриплитными группами (см. рис. 1).

ГЕОТЕКТОНИКА №1 2025



Рис. 5. Сопоставление геолого-геофизических параметров вдоль трека Китового хребта от горячей точки островов о. Гоф и о. Тристан-да-Кунья (по данным [10, 21, 28]).

(а) – Профиль рельефа дна (линия синим) со сглаженным в 111 км плавающем окне профиля (линия красным);
возраст (млн лет) максимумов совпадения с Императорским и Восточно-Индийским хребтами (стрелки черным);
(б) – рельеф дна Южной Атлантики и положение трека Китового хребта, проведенного по областям с максимальной плотностью датировок пород;

(в) — гистограмма возрастных интервалов между подводными горами, полученных привязкой к линейно интерполированным значениям между реперными датировками в сегментах с разной скоростью;

(г) – гистограмма возрастных интервалов между максимумами сглаженного рельефа, полученных привязкой к линейно интерполированным значениям между реперными датировками.

В основном они не формируют длинных линейных треков движения литосферы над глубинными плюмами, за исключением Китового хребта и Камерунской линии, расположенных к востоку от оси САХ.

Тем не менее, отдельные линейные группы расположены симметрично в западной части ак-

ватории Атлантического океана, атрибуция которых как треков движения сомнительна [14] (см. рис. 1).

Мы рассматриваем только группы магматических построек, для которых получены аналитические определения возраста пород и которые расположены в пределах океанической литосферы



Рис. 6. Диаграмма датировок магматических пород в координатах возраста фундамента (по магнитным данным [30]) и аналитических значений возраста (по данным [2, 3, 22]).

Показано: датировки магматических пород (кружки зеленым); поля возрастных кластеров соответствуют областям с положительными (холодными) значениями вариации сейсмических скоростей в слое от 0 до 100 км (синим); области с отрицательными (горячими) значениями (красным); горизонт магматических событий (диагональ фиолетовым); область паузы в появлении импульсов магматизма (прямоугольник синим);

область без перерывов магматизма (прямоугольник красным).

Обозначены (арабские цифры жирным шрифтом) группы внутриплитных магматических гор с определением возраста (Атлантический океан):

1 – острова Исландии, арх. Азорские острова, о. Св. Елены, о. Гоф, о. Тристан-да-Кунья;

2 — Камерунская линия; 3 — Бразильская котловина ("холодная" мантия); 4 — арх. Острова Зеленого Мыса (Западная Африка) и Канарские острова (северо-западное побережье Африки); 5 — Бермудские острова; 6 — горы Новой Англии; 7 — Иберийская котловина; 8 — горы Батиметристов (восточная окраина Экваториальной Атлантики); 9 — Бразильская котловина ("горячая" мантия); 10 — Китовый хребет.

с датировкой возраста фундамента по данным магнитометрии [2, 3, 22, 30].

При отсутствии длинного ряда возрастных датировок вдоль трека и компактном распределении возрастов в пределах групп подводных гор был проведен анализ импульсов наложенной магматической активности во времени на внутриплитные океанические районы в координатах X (возраст фундамента) и Y (возраст пород), которые были предложены для данного вида анализа возрастов в работе [1] (рис. 6).

Рассмотрение данных в указанном координатном пространстве позволяет также визуально оценивать разницу между временем формирования фундамента и более поздним наложением на него импульса внутриплитного магматизма (см. рис. 2, градуировка символов). Поскольку нами охарактеризован возраст 10-ти компактных групп, расположенных в разных частях Атлантики, пространственно-временное сопоставление координатного пространства проводится через номера групп и их географическую привязку (см. рис. 2).

Группы магматических построек сконцентрированы в нижней части плоскости под диагональным "горизонтом" магматических событий (см. рис. 6). Это объясняется невозможностью образования внутриплитных магматических построек ранее времени формирования спредингового фундамента, на котором они обнаружены.

Непосредственно под "горизонтом" находятся группы магматических построек, которые форми-

 Бразильская котловина с "холодной" мантией (группа 3);

- горы Новой Англии (группа 6);
- Иберийская котловина (группа 7);
- горы Батиметристов (группа 8);
- Китовый хребет (группа 10).

К настоящему времени верхнемантийное пространство под этими группами магматических построек является "холодным", что указывает на отсутствие "горячих" объемов мантии, продуцирующих расплавы для формирования гор, и затухание импульса внутриплитного магматизма (см. рис. 2; см. рис. 6, группы 3, 6–8, 10).

Группа 10 (Китовый хребет) имеет вытянутую вдоль оси X форму, соответствующую треку горячей точки, расположенной в настоящее время под островами о. Тристан-да-Кунья и о. Гоф (см. рис. 2; см. рис. 6, группа 10).

Группа 10 (Китовый хребет) сочленяется с группой магматических построек (группа 1) наиболее молодого магматизма от подходящих к САХ плюмов островов Исландии, Азорских островов и о. Св. Елены (см. рис. 6, группы 1, 10).

Всем проекциям указанных плюмов на поверхность соответствует "горячая" область мантии вблизи фундамента с возрастом менее ~40–45 млн лет, за которым наблюдается пауза в наличии новейших магматических построек на фундаменте вплоть до возраста ~80 млн лет (см. рис. 2; см. рис. 6).

Группы магматических построек, имеющие новейшую или современную активность, примыкают к горизонтальной оси во всем диапазоне данных возраста фундамента более 80 млн лет (см. рис. 6):

– острова Зеленого Мыса и Канарские острова (группа 4);

- Бермудские острова (группа 5);
- горы Новой Англии (группа 6);
- Иберийская котловина (группа 7);
- горы Батиметристов (группа 8);

 Бразильская котловина с "горячей" мантией (группа 9).

Они имеют продолжительность во времени, увеличивающуюся с возрастом фундамента. Эти группы сосредоточены над "горячей" мантией, что указывает на наличие ветвей плюма с современной активностью (см. рис. 2; см. рис. 6, группы 4–9).

Группа 4 (острова Зеленого Мыса и Канарские острова), в отличие от группы 1 (Исландия) расположена на древнейшем для Атлантики фундаменте от 120 до 180 млн лет (см. рис. 6). Фундамент содержит проявления импульса плюмового магматизма в стационарном положении без трека движения литосферной плиты общей продолжительностью от 20 до 60 млн лет [2]. Это указывает на отсутствие дрейфа плиты относительно ветви Африканского суперплюма, имеющей проекцию на острова Зеленого Мыса и Канарские острова.

Цепочка групп магматических построек с "холодной" мантией в основании отделена от цепочки групп с "горячей" мантией областью паузы шириной по оси Y от 20 до 60 млн лет, и примыкающей к паузе в новейших значениях возрастов в интервале фундамента от ~45 до ~80 млн лет (см. рис. 6, синий прямоугольник).

Исключение составляет возрастной интервал фундамента от ~80 до ~120 млн лет, в котором пауза в возрастах магматизма отсутствует (см. рис. 6, красный прямоугольник).

Пауза по диагонали планшета устанавливается как в измерении оси Y (возраст пород), так и по оси X (возраст фундамента) (см. рис. 6).

Группы, попарно 6 и 7, 3 и 10, сформированные на относительно древнем и "холодном" фундаменте в течение не более 20 млн лет после его аккреции, при сравнении с их пространственным положением показывают симметричное относительно САХ расхождение активных верхних фрагментов ветвей плюмов при дрейфе плит (см. рис. 2, рис. 7).

Эти парные группы к востоку и западу от САХ указывают на изначальную проекцию плюма на поверхность около оси САХ с последующим перемещением магматических камер от активной межплитной границы (см. рис. 7, двойные стрелки).

Этот механизм объясняет, как при их захвате расходящейся литосферой магматизм сохраняет активность вне ветвей плюма и через некоторое время затухает [2]. В обоих приведенных пространственно-симметричных парных группах западная часть расположена на более древнем фундаменте, что дает дополнительное обоснование появлению западного дрейфа и отодвиганию плит, обрамляющих САХ, от питающей проекции плюма с последующим затуханием интенсивности.

Наиболее близкие к САХ плюмовые магматические системы образуют группу 1 магматических построек (Исландия, Азорские острова и о. Св. Елены) (см. рис. 6; см. рис. 7). Группы, сформированные после паузы во времени ближе



Рис. 7. Диаграмма датировок магматических пород в координатах возраста фундамента (по магнитным данным [2930]) и аналитических значений возраста (по данным [2, 3, 22]).

Показано: датировки магматических пород (кружки зеленым);

области с положительными (холодными) значениями вариации сейсмических скоростей в слое от 0 до 100 км (синий); области с отрицательными (горячими) значениями (красным);

горизонт магматических событий (диагональ фиолетовым); генетически и пространственно-связанные группы подводных гор (двойные стрелки черным);

область САХ (кружок голубым); группы подводных гор, расположенные: к западу от САХ (кружки синим), к востоку от САХ (кружки красным).

Обозначены (арабские цифры жирным шрифтом) группы внутриплитных магматических гор с определением возраста (Атлантический океан):

1 – острова Исландии, арх. Азорские острова, о. Св. Елены, о. Гоф, о. Тристан-да-Кунья;

2 – Камерунская линия; 3 – Бразильская котловина ("холодная" мантия); 4 – арх. Острова Зеленого Мыса (Западная Африка) и Канарские острова (северо-западное побережье Африки); 5 – Бермудские острова; 6 – горы Новой Англии; 7 – Иберийская котловина; 8 – горы Батиметристов (восточная окраина Приэкваториальной Атлантики);

9 – Бразильская котловина ("горячая" мантия); 10 – Китовый хребет.

к оси X, расположены на "горячем" мантийном фундаменте с наиболее продуктивным проявлением новейшего и современного внутриплитного магматизма (см. рис. 6).

На восточном фланге Атлантики группа 4 (острова Зеленого Мыса и Канарские острова) вытянута по вертикальной оси до меловых возрастов [2] (см. рис. 6). Удаленные от САХ симметричные парные группы 9 и 2 и особенно парные группы 5 и 4 отражают современную активизацию магматизма в пределах древнего фундамента по одной из ветвей Африканского суперплюма к востоку от САХ, что приводит к расположению восточных групп магматических построек по возрастанию оси Х (рис. 6, см. рис. 7, рис. 8).

ГЕОТЕКТОНИКА №1 2025

Это также указывает на отсутствие дрейфа современного восточного фланга Атлантики относительно ветвей Африканского суперплюма. Интервал возраста фундамента 80—120 млн лет паузы не имеет (см. рис. 6). Мы можем это интерпретировать влиянием Тихоокеанских плюмовых ветвей на магматическую систему Бермудских островов (см. рис. 8, а).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ данных рельефа и аномалий Буге по трекам, привязанных к датировкам подводных гор в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах, показал наличие устойчивых временных перио-



Рис. 8. Разрез dV сейсмо-томографической модели NGRAND [24] по S-волнам от кровли мантии до ее подошвы (а) и положение его профиля на срезе этой модели на глубине 100 км (б). Контуры проведены через 0.5%; нулевая изолиния показана пунктиром.

дов в формировании подводных гор (см. рис. 3; см. рис. 4; см. рис. 5):

~1.5 млн лет и ~4.5–7.5 млн лет на всех треках;

- ~3.7 млн лет в Южной Атлантике.

Главное отличие Атлантики от других океанов заключается в более низких скоростях смещения плиты над горячей точкой ~3.7 см/год по сравнению с 8–10 см/год в Индийском и Тихом океанах, что, вероятно, влияет на характер поступления расплавов и формирование рельефа.

В Атлантике и Индийском океанах также выделяется период 10—12 млн лет (см. рис. 4, см. рис. 5). Длинные периоды хорошо видны на сглаженных профилях рельефа, которые имеют четкую обратную корреляцию с аномалиями Буге, что указывает на приподнятую кровлю базальтовой коры и увеличенную мощность корового слоя, менее плотного по сравнению с верхней мантией (см. рис. 3, рис. 4, рис. 5).

В работе [6] при оценке эволюции объема водных масс в геологической истории была аргумен-

тировано показана связь тектономагматической активности Земли и скоростей спрединга с кривой эвстатических колебаний уровня моря в фанерозое [26]. Это дает основание сравнить полученные периоды интенсивности магматизма со спектром кривой колебаний уровня моря [27]. Было показано, что спектр, кроме четкого логарифмического тренда на периодах от 600 до 1 млн лет, имеет над трендом заметные экстремумы на периодах 10, 7, 5 млн лет и плотное скопление гармоник от 3 до 1 млн лет [27].

Эти значения периодов в максимумах спектральной плотности были независимо получены нами по оценке рельефа в сочетании с датировками пород на отдельных подводных горах в океанах с разными скоростями движения плит над горячими точками и с питанием от разных антиподальных суперплюмов. Интенсивность океанического магматизма имеет одинаковый частотный набор, что указывает на единый механизм и временну́ю модуляцию активности в магмовыводящих каналах. Анализ времен экстремумов, кроме частотной, указывает также и на фазовую совместимость в геологическом времени магматических процессов с одинаковыми превалирующими периодами (см. рис. 3, см. рис. 4, см. рис. 5).

Для компактных в пространстве групп магматических внутриплитных построек в Атлантике без треков движения плит наблюдается дискретное поступление вещества во времени. Для участков фундамента, имеющих одинаковый возраст и удаленных друг от друга на тысячи километров, наблюдаются импульсы магматизма с паузой во времени 20-60 млн лет. Это подтверждает дискретный и периодический характер поступления прогретого вещества по плюмовым каналам в разных частях океана. Очевидной является пауза между группами магматических построек с новейшей и современной активностью, расположенными над "горячей" верхней мантией и неактивными группами над "холодной" верхней мантией в интервале возрастов фундамента от 40 до 160 млн лет (см. рис. 6).

Максимальная продолжительность импульсов современного магматизма также составляет от 20 до 60 млн лет (см. рис. 6).

Значение паузы во внутриплитной активности разграничивает географически разные районы. Это позволяет предположить, что импульсный режим действует синхронно на разные каналы плюмов не только в пределах Атлантики, но с учетом пространственного разброса вулканических групп — в глобальном масштабе.

Формирование наблюдаемой картины внутриплитного магматизма без плюмов с глубокими корнями может объясняться геодинамической моделью, основанной на захвате движущейся литосферной плитой области с прогретым и частично расплавленным веществом. В частности, данная модель была предложена в 2000 г. А.О. Мазаровичем [2] для магматической системы островов Зеленого Мыса. Особо отметим импульсный во времени режим поступления вещества вверх по каналу плюма [34], что, в совокупности, должно приводить и к временной периодичности групп магматических построек с глубинными плюмовыми корнями, и к пространственной периодичности проявлений магматизма без таких корней за счет дрейфа плит с прогретым веществом.

Мы подкрепили это данными сейсмотомографии, которые показывают глубинное геодинамическое состояние мантии и содержат активные и симметрично разошедшиеся относительно САХ прогретые области без глубинных корней, оторванные от САХ и от питающей ветви Африканского суперплюма (см. рис. 8).

Эти ветви Африканского суперплюма являются переменными по ширине и по ним идет подъем прогретого и частично расплавленного вещества, определяющего пространственно-временную периодичность магматизма на поверхности литосферы.

выводы

1. Данные о рельефе, аномалии Буге и датировки пород подводных гор по трекам горячих точек в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах показали наличие устойчивых временны́х периодов ~1.5, ~3.7, ~4.5–7.5 и 10–12 млн лет вариации интенсивности магматизма с питанием от разных суперплюмов. Эти значения соответствуют периодам максимумов спектральной плотности колебаний уровня моря. Одинаковый частотный набор этих явлений указывает на единый механизм и временную модуляцию активности в магмовыводящих каналах. Анализ времен экстремумов в треках показал фазовую совместимость периодических магматических процессов в геологическом времени с аналогичными периодами.

2. Неактивные магматические системы с минимальной разностью возраста пород и фундамента расположены над "холодными" мантийными областями. Под активными в настоящее время внутриплитными магматическими системами с максимальной разностью возраста пород и фундамента наблюдаются "горячие" аномалии сейсмической томографии в мантии в тех же возрастах фундамента, что в неактивных системах, что указывает на активизацию древних подводящих каналов.

3. Подводные магматические постройки в координатах возраста фундамента (ось X) и аналитического возраста пород (ось Y) образуют в этой системе отсчета компактные, но разнесенные географически группы в диапазоне всех данных возраста фундамента, и имеют длительность импульсов наложенного на фундамент магматизма от 20 до 60 млн лет, в частности, в районе арх. Островов Зеленого мыса и арх. Канарских островов. Это указывает на фиксированное положение подводящих каналов относительно Африканской плиты на восточном фланге САХ в течение кайнозоя.

4. Симметричные относительно Срединно-Атлантического хребта (САХ) и попарно объединенные группы подводных гор, расположенные над "холодной" мантией, имеют более древний фундамент на западном фланге САХ. Мы интерпретируем это на основе общего западного дрейфа литосферных плит и их смещения от плюма, питающего группы подводных гор, расположенные над "горячей" мантией. Группы гор с отсутствием дрейфа, наложенные на ветви суперплюма, имеют более древний фундамент на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта.

5. Импульсам магматизма, продолжающимся в настоящее время в различных частях Атлантики, предшествовала пауза магматизма от 20 до 60 млн лет, общая для разных частей Атлантики, что указывает на глобальность импульсного режима.

6. Импульсные, сконцентрированные в группы, проявления внутриплитного магамтизма в координатах возраста фундамента и возраста пород имеют как временное, так и пространственное дискретное распределение. Анализ данных сейсмотомографии позволяет объяснить это явление сочетанием импульсного режима вертикального поступления прогретого вещества с одновременным горизонтальным движением плит.

7. Внутриплитный вулканизм на океаническом фундаменте с возрастами от 80 до 120 млн лет не имел пауз в своем развитии.

Благодарности. Авторы благодарны анонимным рецензентам А.О. Мазаровичу (ГИН РАН, г. Москва, Россия), А.А. Пейве (ГИН РАН, г. Москва, Россия) и Ю.Л. Ребецкому (ИФЗ РАН, г. Москва, Россия) за полезные комментарии. Авторы признательны редактору М.Н. Шуплецовой (ГИН РАН, г. Москва, Россия) за тщательное редактирование.

Финансирование. Работа выполнена на средства проекта Российского научного фонда № 24-17-00097 "Атлантико-Арктическая рифтовая система: сегментация, эволюция, структурообразование и современная геодинамика" (руководитель – С.Ю. Соколов).

Соблюдение научной этики. Авторы заявляют, что не имеют конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Жулева Е.В.* Пространственно-возрастные характеристики процесса формирования вулканических гор ложа океана // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 1. Вып. 7. С. 115–120.
- Мазарович А.О. Геологическое строение Центральной Атлантики: разломы, вулканические сооружения и деформации океанского дна. М.: Научный Мир. 2000. 176 с.

- Сколотнев С.Г., Пейве А.А. Состав, строение, происхождение и эволюция внеосевых линейных вулканических структур бразильской котловины (Южная Атлантика) // Геотектоника. 2017. № 1. С. 59–80.
- Соколов С.Ю. Тектоника и геодинамика Экваториального сегмента Атлантики. – М.: Научный мир, 2018. 269 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 618).
- 5. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Природа тектонической активности Земли. В сб.: Итоги науки и техники. Серия Физика Земли. М.: ВИНИТИ, 1992. 292 с.
- 6. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Развитие Земли. М.: МГУ, 2002. 560 с.
- 7. *Трифонов В.Г., Соколов С.Ю.* Подлитосферные течения в мантии // Геотектоника. 2017. № 6. С. 3–17. Doi: 10.7868/S0016853X1706008X
- 8. Шипилов Э.В. Океаническая кора, трансрегиональные зоны сдвига и Амеразийская микроплита в мел-кайнозойской геодинамике формирования океана в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2023. Т. 13. № 1. С. 4–17. Doi: 10.25283/2223-4594-2023-1-4-17
- Abbott D.H., Isley A.E. The intensity, occurrence, and duration of superplume events and eras over geological time // J. Geodynam. 2002. Vol. 34. P. 265–307.
- Balmino G., Vales N., Bonvalot S., Briais A. Spherical harmonic modeling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies // J. Geodes. 2012. Vol. 86. No. 7. P. 499–520. Doi: https://doi.org/10.1007/s00190-011-0533-4
- Bonatti E., Ligi M., Brunelli D., Cipriani A., Fabretti P., Ferrante V., Gasperini L., Ottolini L. Mantle thermal pulses below the Mid-Atlantic Ridge and temporal variations in the formation of oceanic lithosphere // Nature. 2003. Vol. 423. P. 499–505.
- Bryan S., Ernst R. Revised Definition of Large Igneous Province (LIP) // Earth Sci. Rev. 2008. Vol. 86. P. 175-202.
- Coltice N., Husson L., Faccenna C., Arnould M. What drives tectonic plates? // Sci. Advances. 2019. Vol. 5. No. 10. P. 1–9. Doi: 10.1126/sciadv.aax4295
- Courtillot V., Davaille A., Besse J., Stock J. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle // Earth and Planet. Sci. Lett. 2003. Vol. 205. P. 295–308.
- Dang Z., Zhang N., Li Z.-X., Huang C., Spencer C.J., Liu Y. Weak orogenic lithosphere guides the pattern of plumetriggered supercontinent break-up // Nature Commun. Earth and Environ. 2020. Vol. 1. Art. 51. P. 1–11. Doi: 10.1038/s43247-020-00052-z
- Duncan R.A. Geochronology of basalts from the Ninety-East Ridge and continental dispersion in the eastern Indian Ocean // J. Volcanol. and Geotherm. Res. 1978. Vol. 4. P. 283–305. Doi: 10.1016/0377-0273 (78) 90018-5
- Duncan R.A. Age distribution of volcanism along aseismic ridges in the eastern Indian Ocean // Proc. Ocean Drilling Program. Sci. Results. 1991. Vol. 121. P. 507–517.
- Duncan R.A., Keller R.A. Radiometric ages for basement Seamounts, ODP Leg 197 // Geochem., Geophys., Geosyst. (G³). 2004. Vol. 5. No. 8. P. 1–23. Doi: 10.1029/2004GC000704

- Eldholm O., Coffin M. Large Igneous Provinces and Plate Tectonics. – In: The History and Dynamics of Global Plate Motions. – Ed by M.A. Richards, R.G. Gordon, R.D. Van Der Hilst – (AGU. USA. Geophys. Monogr. Ser. 2000. Vol. 121), p. 309–326. Doi: 10.1029/GM121
- French S., Lekic V., Romanowicz B. Waveform tomography reveals channeled flow at the base of the oceanic asthenosphere // Science. 2013. Vol. 342. P. 227–230. Doi: 10.1126/science.1241514
- GEBCO 30" Bathymetry Grid. Vers. 2014. URL: http:// www.gebco.net. Accessed November, 2024.
- GEOROC geochemical database. URL: http://georoc. mpch-mainz.gwdg.de/georoc/. Accessed August 8, 2017.
- Gordon A.C., Mohriak W.U. Seismic volcano-stratigraphy in the basaltic complexes on the rifted margin of Pelotas Basin, Southeast Brazil. – In: *Petroleum Systems in "Rift" Basins*. – Ed. by P.J. Post, J. Coleman (Jr.), N.C. Rosen, D.E. Brown, T. Roberts-Ashby, P. Kahn, M. Rowan, (GCSSEPM 34th Annu. Conf., Houston, Texas, USA. 2015), p. 748–786.
- Grand S.P., Van Der Hilst R.D., Widiyantoro S. Global seismic tomography: A snapshot of convection in the Earth // GSA Today. 1997. Vol. 7. P. 1–7.
- Guan H., Geoffroy L., Xu M. Magma-assisted fragmentation of Pangea: Continental breakup initiation and propagation // Gondwana Research. 2021. Vol. 96. P. 56–75. Doi: 10.1016/j.gr.2021.04.003
- Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic // Science. 1987. Vol. 235. P. 1156–1187.
- 27. Harrison C.G.A. Power spectrum of sea level change over fifteen decades of frequency // Geochem., Geo-

phys., Geosyst. (G³). 2002. Vol. 3. No. 8. P. 1–17. 10.1029/2002GC000300

- Huang L., Li C.-F. What controls the magma production rate along the Walvis Ridge, South Atlantic? // Tectonophysics. 2024. Vol. 883. Art. 230381. P. 1–12. Doi: 10.1016/j.tecto.2024.230381
- Mjelde R., Wessel P., Müller R.D. Global pulsations of intraplate magmatism through the Cenozoic // Lithosphere. 2010. Vol. 2. No. 5. P. 361–376. Doi: 10.1130/L107.1
- Müller R.D., Sdrolias M., Gaina C., Roest W.R. Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust // Geochem., Geophys., Geosyst. (G³). 2008. Vol. 9. No. 4. P. 1–19.
- Nobre Silva I.G., Weis D., Scoates J.S., Barling J. The Ninety-East Ridge and its relation to the Kerguelen, Amsterdam and St. Paul hotspots in the Indian Ocean // J. Petrol. 2013. Vol. 54. P. 1177–1210. Doi: 10.1093/petrology/egt009
- Schaeffer A.J., Lebedev S. Global shear speed structure of the upper mantle and transition zone // Geophys. J. Int. 2013. Vol. 194. No. 4. P. 417–449.
- 33. Torsvik T.H., Smethurst M.A., Burke K., Steinberger B. Large igneous provinces generated from the margins of the large low-velocity provinces in the deep mantle // Geophys. J. Int. 2006. Vol. 167. P. 1447–1460. Doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.03158.x
- 34. Trubitsin V.P., Evseev M.N. Pulsation of mantle plumes // Rus. J. Earth Sci. 2016. Vol. 16. No. 3. P. 1–14. ES3005. Doi:10.2205/2016ES000569
- Zhang Y.S., Tanimoto T. Ridges, hotspots and their interaction, as observed in seismic velocity maps // Nature. 1992. Vol. 355. No. 6355. P. 45–49.

Pulsations of Plume Activity in Time-and-Space and Magmatism Superimposed on the Oceanic Lithosphere

S. Yu. Sokolov^{a, *}, N. P. Chamov^a, A. S. Abramova^a

^aGeological Institute of Russian Academy of Sciences (GIN RAS), bld. 7, Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia *e-mail: sysokolov@yandex.ru

The interaction of mobile lithospheric plates and mantle plumes approaching the surface, which have periodic supply of magmatic matter, leads to changes in geological and geophysical characteristics and the appearance of chains and compact groups of volcanoes of different ages in the oceans. Data on the relief, Bouguer anomalies and dating of seamount rocks along the hot spot tracks in the Atlantic, Pacific and Indian Oceans show the presence of stable temporary ~1.5, ~3.7, ~4.5–7.5 and 10–12 Ma periods of magmatism powered by different super-plumes. These values correspond to the periods of maxima of the spectral density of sea level fluctuations. The same frequency set of these phenomena indicates a single mechanism and time modulation of activity in magma-conveying channels. Analysis of the times of extremes in the tracks also indicates the compatibility of the periodicity of magmatism in phase. Groups of underwater magmatic structures without plate movement tracks in the coordinates of the age of the basement and the analytical age of the rocks form compact but geographically separated groups in this reference system, in the range of all ages of the basement of the Atlantic Ocean, and have a duration of impulses of magmatism superimposed on the basement from 20 to 60 million years.

This and other facts indicate a fixed position of the supply channels relative to the African Plate on the eastern flank of the Mid-Atlantic Ridge during the Cenozoic. They substantiate the assumption of the general western drift of the lithospheric plates and their displacement from the feeding plume. The pulses

of magmatism that are currently continuing in various parts of the Atlantic were preceded by a pause in magmatism from 20 to 60 million years. Analysis of seismic tomography data allows us to explain the discrete spatiotemporal distribution of magmatic pulses by a combination of a variable regime of vertical supply of heated matter with simultaneous horizontal movement of plates.

Keywords: mantle, plumes, lithosphere, igneous structures, age of the basement, magmatism pulses, Mid-Atlantic Ridge, Large Igneous Provinces, East Pacific Rise