

ВНУТРИПЛИТНЫЙ ВУЛКАНИЗМ В ОКЕАНЕ: ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.В. Артамонов, Б.П. Золотарев

Геологический институт РАН, Москва, e-mail: artamonov@ginras.ru

Структурными проявлениями внутриплитного вулканизма на дне океана являются различные морфологические типы поднятий (хребты, плато, острова, архипелаги, отдельные подводные горы). В настоящее время при обсуждении процессов формирования подобных тектоно-магматических структур наиболее часто используются представления о взаимодействии неких глубинных стационарных мантийных плюмов (или горячих точек) с движущейся литосферной плитой. На сегодня нет четкой ясности в определении таких понятий как «горячая точка» или «мантийный плюм». Большинство исследователей считают горячие точки проекцией мантийного плюма на поверхность, некоторые предлагают эти понятия разделять. В обобщенном виде мантийные плюмы понимаются как вертикальные потоки вещества, возникающие на больших глубинах в мантии при плавлении вещества над локальными источниками тепла и доходящие до поверхности Земли. Впервые идея о «горячей точке» прозвучала как возможный механизм образования Гавайско-Императорской цепи подводных вулканических поднятий. По существу в основу этого элегантного предположения легли данные о закономерном изменении возраста вулканитов, слагающих эту цепь подводных поднятий, а также теоретические постулаты тектоники плит. В дальнейшем, как гипотеза т. н. мантийных плюмов, она стала использоваться для объяснения формирования любых внутриплитных поднятий в океане, будь то асейсмичный хребет, вулканическое подводное плато, отдельный остров или архипелаг островов. Существенным доводом в пользу подобного обобщения является тот факт, что для ряда линейно-вытянутых океанических поднятий также наблюдается закономерное изменение возраста вулканитов вдоль их простирания. В настоящее время, разными авторами в Мировом океане и на континентах выделяется от 20 до 47 мантийных плюмов. Определены основные положения данной гипотезы, к числу которых относятся: 1) очень большая глубина образования мантийных плюмов, ответственных за внутриплитный магматизм (наиболее часто говорится о глубинах 2900 км и (или) 670 км); 2) их стационарность и 3) весьма значительная длительность их существования и функционирования.

Анализ накопленного геологического, геофизического, геохимического материала по внутриплитным поднятиям Мирового океана (островам, хребтам, плато) позволяет усомниться в универсальности предлагаемого механизма их формирования. В ряде работ разных авторов так или иначе затрагивающих вопросы внутриплитного магматизма различных регионов Мирового океана отмечаются факты трудно соотносимые с основными постулатами гипотезы о «горячих точках».

Подобные факты имеют место, в частности, на Канарских островах и островах Зеленого Мыса в Атлантическом океане. Здесь не наблюдается последовательного изменения возраста вулканитов вдоль простирания архипелагов. Так, в пределах Канарского архипелага, состоящего из 7 главных островов и вытянутого по широте на 500 км, магматическая активность началась и продолжалась на всех островах, входящих в его состав, практически одновременно. Геологические наблюдения и данные абсолютной геохронологии указывают на сходную картину для района островов Зеленого Мыса [Мазарович, 2000]. Комплексные исследования архипелага островов Зеленого Мыса показали, что, наиболее вероятно, формирование островов Зеленого Мыса является результатом взаимодействия вещества разномасштабных и разноглубинных неоднородностей, существовавших в условиях высокой подвижности литосферы и мантии. Выплавление магм архипелага осуществлялось на глубинах 75-100 км в условиях повышенного потенциала летучих компонентов [Тектоника и магматизм..., 1990].

Противоречия между теоретическими построениями и результатами исследований появляются и в отношении тезиса о стационарности мантийных плюмов на протяжении десятков миллионов лет. Несмотря на эталонность Гавайско-Императорской цепи вулканических поднятий как следа движения Тихоокеанской плиты над горячей точкой существуют серьезные сомнения в ее стационарности. Проведенные в ходе 145 и 197 рейсов ОDP определения возраста базальтов из скважин, пробуренных в пределах Императорского хребта на ряде подводных гор, и сопоставление их с палеомагнитными данными показали несовпадение палеоширот

формирования этих вулканических построек с широтой расположения современных Гавайских островов. Результаты исследования показали, что в позднем мелу Гавайская горячая точка располагалась существенно севернее и, более того, двигалась в южном направлении со скоростью, сопоставимой со скоростью движения литосферной плиты [Shipboard Scientific Party, 2002].

Определенные сложности возникают при сопоставлении в пространстве внутриплитных вулканических построек с данными сейсмической томографии для различных глубинных уровней. Примерами этого могут являться архипелаги Атлантического океана (острова Зеленого Мыса, Канарские и Азорские острова). В целом, устойчивой картины непрерывного вертикального глубинного потока разогретого вещества, фиксируемого данным методом, не наблюдается практически нигде. Даже в случае с Исландией, где наблюдаемая сейсмо-томографическая картина близка к модельным построениям [Пейве, 2002], существуют разночтения в интерпретации сейсмо-томографических данных для этого региона.

На сегодняшний день не существует ясного и четкого критерия, позволяющего связать то или иное поднятие с действием мантийного плюма. Все свойства плюма, предлагаемые для его идентификации, представляют собой выборочный набор общих черт, свойственных известным внутриплитным (или иным) поднятиям, таких как морфология, повышенная мощность коры, значительные объемы вулканизма и т. п. Указываются и некоторые геохимические особенности. Например, высокие значения MgO и P3Э в базальтах слагающих эти структуры [Грачев, 2003]. Однако, отмечается, что современные плюмы характеризуются широкими вариациями изотопного состава Sr и Nd. Высокие значения отношения изотопов $^3\text{He}/^4\text{He}$ в вулканиках принято считать критерием глубины их образования. Однако, далеко не всегда наблюдаемые значения этого параметра в породах, слагающих поднятия, которые относят к продуктам действия мантийных плюмов, отвечают представлению о большой глубине образования их первичных расплавов. И если в районе Исландии эти значения действительно достигают 16, то в других лавах, которые относят к плюмовым источникам, величина $^3\text{He}/^4\text{He}$ очень сильно варьирует. Так, в районе островов Св. Елены, Гоф, Тристан-да-Кунья, а также Азорских и Канарских, наблюдаются низкие $^3\text{He}/^4\text{He}$ отношения, иногда ниже чем в N-MORB [Пейве, 2002].

Попытки на основе ряда геологических и геофизических признаков классифицировать известные проявления внутриплитного магматизма [Courtillot, 2003] привели к их разделению на три различных типа, отличающихся, в первую очередь, глубиной образования исходного мантийного материала. Лишь 7 из 47 горячих точек, согласно авторам этой статьи, обладают признаками, позволяющими связывать их образование с нижней мантией. Остальные 40 разделены поровну еще на два типа, отличающиеся по глубине источника. Для одного из них этот источник располагается в верхней мантии, а для другого в зоне перехода между верхней и нижней мантией.

Анализируя современное состояние проблем, связанных с глубиной зарождения мантийных плюмов, закономерностями их размещения на земной поверхности и долговременной стационарности, В.Е. Хаин констатирует, что классический вариант гипотезы о горячих точках, предложенный Дж. Морганом, не отвечает наблюдаемым фактам. Для преодоления имеющихся противоречий предлагаются иные подходы к решению проблемы происхождения линейных вулканических цепей, такие как связь этих структур с разломами, а также влияние на их образование осевого вращения Земли (ссылки в работе [Хаин, 2002]).

Яркими представителями внутриплитных поднятий в Индийском и Атлантическом океанах являются Восточно-Индийский, Маскаренский и Мальдивский хребты, плато Кергелен, а также хребет Китовый. Сегодня наиболее часто образование внутриплитных поднятий на западе Индийского океана (Маскаренский и Мальдивский хребты, а также остров Реюньон и траппы Декана) объясняют действием долгоживущей глубинной мантийной горячей точки «Реюньон». Большое число исследователей предлагает считать мантийный плюм «Кергелен» ответственным за формирование Восточно-Индийского хребта и плато Кергелен, а также траппов Раджмахала и еще ряда структур. С движением Африканской плиты над горячей точкой «Тристан» связывают образование Китового хребта. Принято считать, что началом функционирования данного плюма является время образования покровных базальтов трапповых провинций Парана в Южной Америке и Этендека в Африке (около 125 млн. лет назад), которые были разделены в ходе последующего раскрытия Южной Атлантики, а наиболее молодым продуктом его действия - остров Тристан-да-Кунья. В пределах этих подводных тектоно-магматических структур в разное время были пробурены скважины ODP.

Анализ полученного при этом материала позволяет рассмотреть особенности магматизма, свойственного различным этапам их формирования.

Для всех названных подводных поднятий характерны блоковая морфология и увеличенная мощность коры. В целом наблюдается закономерное изменение возраста слагающих эти поднятия вулканитов вдоль их простирания, хотя иногда такая закономерность нарушается. Вулканизм, свойственный этим внутриплитным поднятиям, обладает своими особенностями для каждого конкретного поднятия и существенно отличается от характерного для Гавайско-Императорского хребта. Его продуктами являются толеитовые базальты, причем разные по своим геохимическим характеристикам в отдельных сегментах поднятий. Концентрации некогерентных редких и редкоземельных элементов в базальтах изученных поднятий в основном ниже, чем это характерно для океанических островов, и в большинстве случаев выше, чем у нормальных базальтов СОХ. При этом базальты близкие по составу к N-MORB и E-MORB не являются для этих структур чем-то уникальным, а распространены достаточно широко. В ряде скважин описаны дискретные геохимические группы базальтов [Артамонов, Золотарев, 2003; Вертикальная аккреция..., 2002, с. 279-323]. Данные по изотопной геохимии изученных базальтов показывают, что наблюдаемые составы, при попытках объяснения их образования, требуют смешения нескольких различных мантийных источников. Ни в одном из изученных объектов не обнаружены типичные для Гавайских островов породы, такие как пикрит, океанит, анкарамит, базанит и нефелинит. Породы повышенной щелочности найдены лишь на сопредельных островах.

Результаты изучения геохимии базальтов фундамента внутриплитных океанических поднятий позволяют задаться вопросом о необходимости привлечения сверхглубинных уровней Земли для образования наблюдаемых составов этих магматических пород. Базальты, вскрытые скважинами на Восточно-Индийском, Мальдивском и Маскаренском хребтах и плато Кергелен в Индийском океане, а также на Китовом хребте в южной Атлантике, обладают характерными геохимическими особенностями, отличающими их как от толеитов СОХ, так и базальтов островов, но для их образования нет необходимости привлекать столь глубокий материал [Артамонов, Золотарев, 2003; Вертикальная аккреция..., 2002, с. 279-323]. Подобные составы пород возможно получить и из верхнемантийных глубинных уровней. Сомнения в сверхглубинности внутриплитных базальтовых расплавов высказывались и в других работах [Кадик и др., 1989]. Очень интересны результаты изучения расплавных включений в минералах из образцов пород различных магматических серий, слагающих остров Реюньон (Индийский океан) и Гавайские острова (Тихий океан). Эти исследования показали, что образование их первичных расплавов происходило при температурах 1480–1650°C и давлении в 30–40 кбар, что соответствует глубине в 100–130 км [Соболев, Никогосян, 1994].

Как нам представляется приведенные факты заставляют полагать, что гипотеза мантийных плюмов не является универсальной для объяснения внутриплитного магматизма в океане. Для ряда подводных поднятий она требует серьезной корректировки или иных трактовок наблюдаемым фактам. Связь вулканизма с разломной зоной, в результате которой может формироваться хребет или иное поднятие, представляется более простым и правдоподобным механизмом, объясняющим имеющиеся разнообразные геолого-геохимические факты. Тем более, что такая идея не является чем-то принципиально новым. Подобные предположения разными авторами высказывались и в связи с образованием обсуждаемых поднятий в Индийском и Атлантическом океанах (ссылки в работе [Артамонов, Золотарев, 2008]). Важную роль глубинных разломов для возникновения внутриплитного магматизма признавал В.В. Белоусов [Белоусов, 1968]. Его идея о мантийных астенолитах, отделившихся от астеносферы, и их движения вверх в кору позволяет исключить необходимость движения нижнемантийного вещества через всю толщу мантии и кору, существенно сокращая этот путь. Глубинные разломы, представляющие собой ослабленные зоны литосферы, рассматриваются как основные пути движения астенолитов вверх. Предложенный механизм выглядит не менее убедительно, чем концепция мантийных плюмов.

Понятие астеносферы является одним из ключевых при обсуждении процессов плавления мантийного вещества и формулирования различных геодинамических моделей. На сегодняшний день, астеносфера определяется как слой пониженной вязкости, твердости и прочности, мощностью в 200-250 км, расположенная непосредственно ниже литосферы. При этом, как отмечают многие исследователи, о сплошном и едином астеносферном слое говорить уже не приходится. Модель верхней мантии, состоящей из серии жестких пластин, разделенных

ослабленными слоями, представляется более обоснованной, чем схема мантии, состоящей из жесткой литосферы, подстилаемой реологически ослабленной астеносферой [Павленкова, 2002]. Отсутствие сплошности астеносферного слоя позволяет теоретически предполагать возможность проникновения разломов на значительные глубины в верхнюю мантию.

Наличие зон пониженных скоростей прохождения сейсмических волн в основании литосферы обусловлено, по-видимому, частичным плавлением ультраосновных пород, что в условиях равных температур и давлений может быть связано с повышенным содержанием флюидной фазы [Летников, 1999]. Подобные астеносферные флюидные потоки могут весьма существенно влиять на составы первичных выплавов в пределах литосферы. На процессы плавления верхнемантийного вещества также могут оказывать значительное влияние глубинные высокотемпературные флюидные потоки. Водно-газовый или газовый флюид является хорошим теплоносителем и может быть сжат до высоких плотностей. Движение подобного флюидного потока сквозь толщу твердого кристаллического вещества мантии выглядит менее проблематичным, чем тысячкилометровый путь нижнемантийного вещества к поверхности Земли. Может быть, такие сверхглубинные высокотемпературные флюидные потоки и следует считать мантийными плюмами? Широкий спектр имеющихся геохимических фактов указывает на существование как вертикальной, так и латеральной вещественной неоднородности верхней мантии, природа которой остается дискуссионной. В этом случае, разлом (или серия разломов) по мере своего развития может затрагивать различные по составу участки мантии, что приведет к выплавлению первичных магм с разными геохимическими характеристиками. Глубина его проникновения в мантию в отдельных сегментах также может быть различна, что также приведет к вариациям в составе расплава. Учитывая, что протяженность обсуждаемых внутриплитных поднятий составляет тысячи километров, вероятность такого развития событий представляется достаточно высокой.

Список литературы

- Артамонов А.В., Золотарев Б.П.** Вулканизм плато Кергелен (Индийский океан): состав, эволюция, источники // Литология и полезные ископаемые, 2003. № 4. С. 425-448.
- Артамонов А.В., Золотарев Б.П.** Тектоника и магматизм внутриплитных океанических поднятий и гипотеза «горячих точек» // Геотектоника, 2008. № 1. С. 77-96.
- Белоусов В.В.** Факторы магмаобразования и их связь с тектоногенезом // Проблемы тектоники и магматизма. М.: Наука, 1968. С. 5-19.
- Вертикальная аккреция земной коры: факторы и механизмы** // Отв. ред. М.Г. Леонов. М.: Наука, 2002. 461 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 542).
- Грачев А.Ф.** Идентификация мантийных плюмов на основе изучения вещественного состава вулканитов и их изотопно-геохимических характеристик // Петрология, 2003. Т. 11. № 6. С. 618-654.
- Кадик А.А., Луканин О.А., Лапин И.В.** Физико-химические условия эволюции базальтовых магм в приповерхностных очагах / М.: Наука, 1989. 346 с.
- Летников Ф.А.** Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования // Смирновский сборник - 99. М.: ВИНТИ. 1999. С. 63-98.
- Мазарович А.О.** Геологическое строение Центральной Атлантики: разломы, вулканические сооружения и деформации океанского дна // М.: Научный Мир, 2000. 176 с.
- Павленкова Н.И.** Структура земной коры и верхней мантии и глобальная геотектоника. // Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. М.: ОИФЗ РАН. 2002. С. 64-83.
- Пейве А.А.** Структурно-вещественные неоднородности, магматизм и геодинамические особенности Атлантического океана // М.: Научный мир, 2002. 278 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 548).
- Соболев А.В., Никогосян И.К.** Петрология магматизма долгоживущих мантийных струй: Гавайские о-ва (Тихий океан) и о-в Реюньон (Индийский океан) // Петрология, 1994. Т. 2. № 2. С. 131-168.
- Мазарович А.О., Фрих-Хар Д.И., Когарко Л.Н.** и др. Тектоника и магматизм островов Зеленого Мыса (Тр. ГИН РАН; Вып. 451) // М.: Наука, 1990. 246 с.
- Хайн В.Е.** Глобальная геодинамика на пороге нового века // Геотектоника, 2002. № 4. С. 3-13.
- Courtillot V., Davaille A., Besse J., Stock J.** Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle // Earth Planet. Sci. Lett., 2003. V. 205. P. 295-308.
- Shipboard Scientific Party.** Leg 197 summary // In Tarduno, J.A., Duncan, R.A., Scholl, D.W. et al., Proc. ODP. Init. Repts. College Station TX (Ocean Drilling Program), 2002. V. 197. P. 1-92.