DOI: 10.18454/PMI.2017.1.3

Геология

УДК 553.212:551.24

ПЛЮМ-ТЕКТОНИКА – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Ю.И.ДАРАГАН-СУЩОВ
ВНИИОкеангеология имени академика И.С.Грамберга, Санкт-Петербург, Россия

Статья посвящена роли мантийных плюмов в формировании больших изверженных провинций. Из различных регионов мира приводятся факты, противоречащие основным положениям плюм-тектоники. Подробнее рассматриваются классические вулканические провинции Гавайских островов и Исландии, а также Сибирские и Деканские траппы, океаническое плато Онтонг-Ява, Центрально-Атлантическая магматическая провинция, хр. Альфа и поднятие Менделеева в Северном Ледовитом океане. Делается вывод, что плюмы являются лишь частным проявлением мантийно-литосферных потоков, которые, по данным глубинной геофизики, нередко расположены горизонтально, что исключает их плюмовую природу. Нагретые массы мантийного вещества под областями новейшего вулканизма или рифтовыми зонами срединно-океанических хребтов не поднимаются из глубины в виде прямых колонн, а имеют весьма произвольную форму, отклоняясь в стороны и обладая отростками, апофизами, шарообразными вздутиями. Вертикальные восходящие потоки горячей магмы (плюмы) являются не причиной, а следствием раскола в литосфере и подъема магматического вещества за счет декомпрессии. Делается вывод, что неплодотворно безмерно расширять форму и размеры плюмов, и тем более, объяснять ими все многообразие эндогенных процессов.

***Ключевые слова*:** плюм-тектоника, мантийно-литосферные потоки, Гавайские острова, Исландия, большие изверженные провинции

***Как цитировать эту статью*:** Дараган-Сущов Ю.И. Плюм-тектоника – миф или реальность? // Записки Горного института. 2017. Т. 223. С. 3-8. DOI: 10.18454/PMI.2017.1.3

Введение. Плюм-тектоника появилась полвека назад в рамках плейт-тектонической гипотезы для объяснения механизма возникновения ареального магматизма океанических островов и внутриплитных платобазальтовых провинций. Эталонным объектом плюмовой тектоники считается расположенная на северо-западе Тихого океана цепь вулканических островов от подводного Императорского хребта до Гавайского архипелага, для которой с севера на юг характерно омоложение вулканической активности. Этот факт объясняется прохождением плиты над стационарной горячей точкой или мантийным плюмом (Дж.Вилсон, 1963 и В.Морган, 1972). Благодаря работам ученых на сегодняшний день сфера влияния глубинных магматических процессов на тектонические события в виде мантийных плюмов и суперплюмов значительно расширилась. Считается, что плюмы ответственны за мощные вулканические процессы на поверхности Земли, формируя обширные изверженные провинции. Плюмы признаны основной движущей силой литосферных плит, причиной континентального рифтогенеза, раскола континентов, спрединга, деструкции континентальной коры и ее превращения в океаническую. Особый всплеск интереса к плюм-тектонической концепции произошел в 90-х годах XX в., по мере прогресса в сейсмической томографии, установившей мантийные неоднородности в различных регионах Земли. К настоящему времени число выявленных плюмов различного размера превышает 5 тысяч.

Постановка проблемы. Как и всякая концепция, плюм-тектоника основана на некоторых экспериментально проверяемых предположениях, главные из которых [11] следующие:

• зрелый мантийный плюм состоит из огромной головы в форме диска диаметром до 2-2,5 тыс. км и хвоста диаметром от 10 до 200 км;

• температура головы плюма на 200-250 °С выше окружающих участков мантии, что и обеспечивает всплывание плюмов, а значит, над активными плюмами должен быть повышенный тепловой поток;

• ввиду огромных размеров плюмы остаются перегретыми значительный период времени, от 100 до 300 млн лет;

• ареальному вулканизму должно предшествовать воздымание надплюмовой области с амплитудой в эпицентре до 1 км, повторяющее очертания мантийного купола;

• в эпицентре горячего плюма на первых порах должны выплавляться пикритовые магмы, количество которых убывает к периферии плюма.

DOI: 10.18454/PMI.2017.1.3

Несмотря на то, что современная трактовка допускает значительные вариации в строении плюмов, их температуре, размерах и глубине формирования, она все равно не объясняет ни всего разнообразия наземных вулканических продуктов, ни особенностей их тектонической позиции. Складывается впечатление, что недостаток доказательств при обнаружении горячих плюмов в недрах сопоставим с отсутствием сомнений в их существовании. Особо популярна плюмовая концепция среди отечественных геологов, независимо от приверженности исследователей к мобилистской или фиксистской парадигмам. Плюм-тектоникой или магматическим апвеллингом объясняют любые сколько-нибудь масштабные магматические проявления, даже если нет никаких геофизических доказательств существования мантийных неоднородностей.

Как ни странно, но именно на западе, где и зародилась концепция, в последние десятилетия появилось много аргументированных публикаций, в которых высказываются сомнения в универсальности плюмового механизма или его полное отрицание. Так, известный американский геофизик Д.Андерсон, один из основоположников сейсмической томографии и создателей плюмовой концепции, высказал сомнение в реальности существования плюмов, полагая, что на сегодняшний день сейсмических данных для их выявления недостаточно. Беглое знакомство с обширной литературой показало, что области генерации плюмов могут располагаться на любых глубинах, плюмы стационарны или подвижны, долго- или короткоживущи, поднимаются вверх или движутся наклонно, имеют локальные или масштабные размеры, не имеют головы или имеют одну либо много голов, продуцируют устойчивый или вариабельный тепловой поток, имеют высокие или низкие соотношения гелиевых изотопов. Возникает естественный вопрос: каким образом взаимоисключающие данные могут свидетельствовать в пользу существования или отсутствия плюмов. Ответ очевиден – пока никакие. В таком случае плюм-тектоника не гипотеза, а умозрительное априорное допущение. При таком фактологическом разнообразии плюм-тектоника ничего не объясняет, а, наоборот, искажает без того неясную сложную картину строения земных недр.

При всем разнообразии томографических алгоритмов геофизические данные определенно указывают на неоднородности в верхней мантии. На этом также настаивают геохимики, изучающие мантийные ксенолиты. Низкоскоростные слои не образуют единого слоя, как это предполагалось в период создания концепции плюмов, т.е верхняя мантия гетерогенна. Нет и единого астеносферного слоя. Современная сейсмотомография показала, что под континентами до глубин 400-600 км существуют глубокие корни и астеносфера отсутствует. Чередование в верхней мантии низкоскоростных (разогретых) и высокоскоростных (охлажденных) участков предполагает конвекцию как термической, так и термохимической природы. Доля последней в мантийных процессах, вероятно, преобладает, так как большое давление на таких глубинах ослабляет термальную экспансию, и химическое влияние на всплывание разогретого вещества превышает термальный эффект. В разной мере разогретые мантийные линзы и струи имеют причудливую форму и, нередко, расположены горизонтально, что исключает их плюмовую природу. Холодные и горячие струи вещества мантии образуют сложное переплетение в горизонтальной и вертикальной плоскостях, и при этом не наблюдается полного соответствия их глубинных продолжений по отношению к поверхностным. Нагретые массы мантийного вещества под областями новейшего вулканизма или рифтовыми зонами срединно-океанических хребтов не поднимаются из глубины в виде прямых колонн, а имеют весьма произвольную форму, отклоняясь в стороны и обладая отростками, апофизами, шарообразными вздутиями. Сегодня многие исследователи полагают, что плюмы не ответственны (или ответственны в очень незначительной степени) за движение литосферных плит. Выявленная морфология мантийных неоднородностей вынуждает ограничить роль плюмов созданием больших изверженных провинций и океанических островов с мощным базальтовым слоем, т.е. вернуться к первоначальному варианту концепции горячих точек.

Роль плюмов в формировании больших изверженных провинций. Классическим примером современных вулканических провинций, поддерживающих «на плаву» плюм-тектоническую концепцию, остаются Гавайские острова и Исландия. На северо-западе Тихого океана, и прежде всего на самом Гавайском архипелаге, плюм-тектоническая концепция в любой ее модификации вступает в противоречие с геофизическими и петролого-геохимическими данными. Так, есть несоответствие между предполагаемой траекторией движения Тихоокеанской плиты над Гавайской горячей точкой, рассчитанной по распределению линейных магнитных аномалий, и реальным

DOI: 10.18454/PMI.2017.1.3

направлением и возрастом вулканов Императорского и Гавайского хребтов, особенно в месте их локтеобразного сочленения [22]. Вулканы вытянуты не в единую линию, а располагаются эшелонированно. Размер поднятия вдоль Гавайских островов не уменьшается по мере удаления от движущейся плиты, как того требует теория плюмов. А на Императорском хребте поднятие вообще не зафиксировано [21]. Сейсмотомография не показала связи низкоскоростной аномалии в мантии с поверхностным вулканизмом [24]. Сам архипелаг расположен над холодной высокоскоростной мантией, в то время как разогретые низкоскоростные выступы в мантии обнаружены на значительном расстоянии к юго-западу от Гаваев. Вулканы на юге Гавайского архипелага образуют две параллельные линейные геохимические серии, расположенные друг от друга всего в 40 км [15]. Причем в одной из них в соответствии с возрастом вулканов меняется состав вулканических продуктов, тогда как в другой этого не происходит. Неспособность с позиции плюм-тектоники объяснить отмеченные особенности геологии Гавайских островов вынуждает искать другие объяснения.

Одно их них возрождает возникшее еще в середине позапрошлого века представление о литосферном стрессе, который приводит к скачкообразному извержению магмы из малоглубинных резервуаров. Современный вариант этой гипотезы – теория литосферного разрыва, при котором при проградации литосферной трещины над движущейся плитой происходят последовательные извержения в эшелонированных вулканических цепях. Одновременно разрабатываются гипотезы мелкомасштабной конвекции в мантии или компенсационного изгибы литосферы.

Другим общепринятым примером современной горячей точки считается Исландия. Это крупный остров в Северной Атлантике, расположенный на пересечении Срединно-Атлантического хребта (САХ) с Фареро-Гренландским порогом (плато), соединяющим Северную Америку с Британией и Скандинавией. Видимая часть земной коры Исландии сложена практически полностью вулканическими породами, представленными на 90 % толеитовыми, в меньшей мере, оливиновыми базальтами. Оставшиеся 10 % занимают вулканиты среднего и кислого состава: андезиты, дациты, риолиты, трахиты. Лавы сопровождаются пирокластами и гиалокластитами того же состава. Осадочных пород в разрезе Исландии очень мало, они представлены межпокровными линзами речных и озерных отложений и тиллитами и, конечно, имеют вулканомиктовый генезис.

С позиций плюм-тектоники образование о-ва Исландия, Гренландско-Исландского и Исландско-Фарерского порогов и других структур Исландского региона обусловлено Исландским плюмом, соответствующим низкоскоростной мантийной зоне [20]. В результате дробления континентального массива Северной Атлантики в позднем мезозое произошло разделение Северо-Американской и Евроазиатской плит. В палеоцене под эту территорию внедрился плюм, что привело к океаническому спредингу и гравитационному поднятию литосферы региона. Гренландско-Исландский и Исландско-Фарерский пороги, хр. Ян-Майен и другие поднятия региона являются древним следом движения плит над Исландским плюмом или его боковыми течениями [23]. Главными аргументами в пользу существования Исланского плюма являются аномальная мощность земной коры под центром Исландии (до 40 км) и высокие значения сейсмических продольных волн равные или несколько превышающие 7 км/с. Избыточная мощность земной коры под Исландией, по сравнению с другими районами САХ, объясняется движением океанической плиты над стационарной горячей точкой. Внедрение плюма предполагает повышенный геотермический режим всего Исландского региона.

Однако последние измерения теплового потока в Исландии показали, что он не отличим от других районов САХ, особенно со стороны Северо-Американской плиты. При этом для Северо-Американской плиты он даже меньше, чем для Европейской плиты, хотя в соответствии с концепцией плюмов должно быть наоборот. Кора под Исландией холоднее, чем на аналогичных глубинах в районе Восточно-Тихоокеанского поднятия [18]. В Исландии нет возрастной миграции следа горячей точки, как на Гавайях. Таким образом, классическая гавайская модель миграции плиты над глубоким фиксированным плюмом не применима для объяснения гигантских объемов вулканитов как Северо-Атлантической (Брито-Арктической) магматической провинции в целом, так и для Исландии. Наблюдаемую в Исландии сейсмическую и термическую анизотропию сложно объяснить с позиций стационарных плюмов. Пикритовые лавы как индикатор высоких температур в мантии в Исландии вообще отсутствуют. Напротив, в современных рифтовых

DOI: 10.18454/PMI.2017.1.3

долинах нередко доминируют исландиты (железистые андезиты) и кислые лавы. Сейсмическая томография не показала плюмообразной структуры в нижней мантии под Исландией. Глубже 250 км низкоскоростная аномалия приобретает вытянутую форму, комплиментарную САХ. Подобные слабые аномалии в нижней мантии установлены под щитами в Канаде и Скандинавии, где никто не предполагает наличия мантийных плюмов.

Несоответствие фактического материала плюмовой концепции стимулирует появление альтернативных объяснений Исландской аномалии. С позиций плейт-тектоники возрождаются представления о пересечении САХ каледонской сутуры, которая маркирует древнюю субдукционную зону. Избыточное количество базальтов, выплавленное из недр Исландии, по сравнению со смежными участками САХ, может явиться следствием существования древних субдукционных слэбов, которые до сих пор остались в близко расположенной мантии [14]. Учитывая реальную гетерогенность мантии, особенности строения недр Исландии объясняют мультимасштабной конвекцией [16] либо долгоживущими зонами декомпрессии в литосфере [13]. Для объяснения возможной природы траппового магматизма, в том числе Исландского региона, предложена концепция вихревых движений в нелинейной геофизической среде [2]. Представляется, что трудности в интерпретации исландского феномена с позиций плюм-тектоники связаны не только с недостаточным количеством сейсмических наблюдений, но и с умозрительным характером трактовки геофизических данных в отрыве от геологических наблюдений. Именно геологические данные показали, что уже в раннетретичное время Исландия была частью огромного сухопутного моста между Америкой и Европой, который в миоцене погрузился под воды Северной Атлантики. Причины погружения могут быть разными – спрединг либо базификация, но сам факт существования на месте современной Северной Атлантики суши в позднем мезозое установлен геологией.

Убедительным доказательством корректирующей роли геологических наблюдений являются результаты бурения и драгирования на краевых плато Воринг, Роколл и других внутриокеанических поднятиях Северной Атлантики. Континентальный тип коры на большей части плато Воринг и Роколл доказан исключительно благодаря глубокому бурению, вскрывшему докембрийские гранулиты и гранитоиды в фундаменте обеих структур. Ранее полагали, что фундамент представлен основными магматическими породами третьего океанического слоя. В Норвежской котловине, имеющей, по геофизическим данным, океаническую кору, глубокими нефтяными скважинами и драгированием обнаружены многочисленные блоки континентальной коры. Здесь в коренном залегании в стенках крупных разломов и на локальных возвышенностях подняты типичные континентальные породы, представленные терригенными разностями аркозового типа, кварцитами, зеленокаменными сланцами, эпидотовыми амфиболитами и мигматит-гранитами, аналогичными обнаруженным на возвышенностях Хеттон-Роколл и Фарерской, сходными с мигматитами калиевого профиля в континентальном обрамлении Северной Атлантики. Даже на склонах срединного хребта Рейкьянес и в Фареро-Исландском желобе обнаружены гранулиты и чарнокиты, типичные для докембрийских щитов [6].

В то же время ни одна из сосуществующих концепций не может объяснить, почему количество расплава магматического материала под Исландией в 2-3 раза выше, чем в других местах САХ, в то время как температура в недрах Исландии относительно небольшая. Кроме того, установленный наземный характер вулканизма надо увязать с геохимией базальтов, которые очень близки базальтам океанических островов и САХ. Остается непонятным появление значительных объемов средних и кислых магматитов в пределах активной рифтовой зоны Исландии и полное отсутствие пикритовых лав, в то время как в других районах САХ развиты исключительно базальты и ультрабазиты.

Несоответствия главных предположений плюмовой тектоники реальным геологическим и петрологическим наблюдениям отмечаются и в других обширных магматических провинциях. Для континентальных платобазальтов Декана в Индии [19], Тунгусской синеклизы в Сибири [1, 12] и океанического плато Онтонг-Ява [9] отмечен низкий тепловой поток, соизмеримый с другими кратонами, и отсутствует воздымание надплюмовой области, предшествующее ареальному вулканизму. Примечательно, что в керне скважин, пробуренных на плато Онтонг-Ява, обнаружены пирокластические породы (туфы), что указывает на субаэральный характер извержения. По соотношению изотопов аргона для Онтонг-Ява установлено два кратких масштабных эпизода извержения с перерывом в 30 млн лет.

DOI: 10.18454/PMI.2017.1.3

Нет доказательств существования надплюмового поднятия и для огромной Центрально-Атлантической вулканической провинции. Кроме того, здесь также зафиксировано два магматических события с интервалом в 70 млн лет [17]. Раннее событие произошло геологически мгновенно в ранней юре практически одновременно с распадом Пангеи, в результате чего и сформировалась гигантская Центрально-Атлантическая провинция, представленная толеитовыми низкокалиевыми базальтами. Начиная с раннего мела и в кайнозое провинция была ареной извержения щелочно-оливиновых базальтов из многочисленных (более сотни) вулканов, вытянутых в цепочки подводных гор, которые расположены незакономерно, независимо от спрединговых центров. Щелочно-оливиновые лавы и плутоны аналогичного состава обнаружены по обоим берегам Центральной Атлантики на востоке Америки и на западе африканского побережья. Два эпизода магматизма невозможно объяснить с позиций единого суперплюма. Щелочно-оливиновые базальты явно моложе интрудированных толеитовых базальтов и отличаются от них по глубине зарождения магматического расплава.

Некритическое увлечение плюм-тектоникой, которая, по мнению многих исследователей, является главной причиной крупномасштабного перемещения мантийного материала и играет ведущую роль в расколе и перемещении континентальных масс, особенно характерна для малоизученных территорий, например таких, как Арктика [7]. Недостаточное количество информации компенсируется априорными построениями.

До сих пор многие исследователи Арктики полагают, что подводный хр. Альфа и сопряженное с ним поднятие Менделеева, расположенные в Трансарктическом поясе поднятий Северного Ледовитого океана, являются океаническим плато, сформированным за счет воздействия мантийного плюма на древний спрединговый центр, аналогичный исландскому. Аргументация обычна: аномальная мощность коры (30-40 км) с высокими «базальтовыми» сейсмическими скоростями при относительно гомогенной верхней части коры и единичные находки измененных щелочных базальтов в туфовом матриксе. Логика рассуждений понятна: раз сейсмические характеристики коры хребтов Альфа – Менделеева близки сейсмическим характеристикам коры Исландии, плато Онтонг-Ява и поднятия Кергелен, которые априори считаются океаническими, то и хр. Альфа является результатом действия мантийного плюма на океаническую кору. Такая позиция большинства принята Комиссией ООН по границам континентального шельфа (г. Нью-Йорк) и зафиксирована в ст.76 Конвенции ООН по морскому праву 1982 г., где сказано, что хребты глубоководного океанского ложа, образованные в результате спрединга морского дна, или хребты, образованные в результате активного вулканизма, связанного с излияниями аномально горячей мантии, рассматриваются Комиссией как океанические структуры. Однако в последние годы появляются работы, в которых допускается возможность континентальной природы хребтов Альфа – Менделеева, учитывая неоднозначность трактовки скоростных моделей [10] и результаты драгирования на хр. Менделеева [3]. Высокие сейсмические скорости в коре не только присущи базальтам второго океанического слоя, но также характерны для карбонатов и докембрийских метаморфических пород, что убедительно показано бурением на плато Воринг. Кроме того, щелочные базальты больше характерны для наземных внутриплитных структур либо океанических плато (недоказанного генезиса) и совершенно не встречаются на срединно-океанических хребтах и в пределах абиссальных котловин.

Обсуждение. Прогресс в науках о Земле приводит к выводу, что не плюмы приводят к разрыву литосферы и излияниям магм, а, наоборот, расколы в литосфере вызывают плавление и подъем мантийного вещества за счет декомпрессии [8]. Мантийные плюмы смоделированы экспериментально и нигде не наблюдались в природе в классическом виде. Сегодня определенна лишь гетерогенность мантии, доказанная сейсмической томографией. Неясно, почему периодически возникают расколы в литосфере и каковы пространственно-временные закономерности их появления. Следует подчеркнуть, что ввиду конвергентности явлений в природе в геологии не должно быть единой красивой теории, объясняющей все многообразие процессов, происходящих на Земле. Любая теория отражает лишь отдельные аспекты развития. Общеизвестна полярность суждений в разные периоды истории геологических знаний: плутонизм-нептунизм, катастрофизм-эволюционизм, фиксизм-мобилизм. История геологии показала, что простые объяснения сложных многофакторных процессов не выдерживают проверку временем. Попытка найти универсальный механизм тектонических процессов подобна привлекательной, но безуспешной идее создания «вечного двигателя».

DOI: *10.18454/PMI.2017.1.3*

Плюмы как горячий мантийный поток движутся независимо от конвекционных потоков гетерогенной мантии. Даже если плюмы существуют – это лишь частное проявление мантийно-литосферных потоков. Поэтому неплодотворно безмерно расширять форму и размеры плюмов и тем более объяснять ими все многообразие эндогенных процессов. В любой современной теории Земли нельзя не учитывать ротационные и космические факторы, которые в значительной мере определяют магматизм и тектонику различных регионов [4, 5].

Выводы

1. Мантийные плюмы не являются определяющей причиной появления больших изверженных провинций на континентах и в океанах. Тем более они не могут быть универсальной причиной планетарных тектонических явлений: спрединга, континентального рифтогенеза, движения литосферных плит.

2. Плюмы и суперплюмы – лишь оно из проявлений мантийно-литосферных потоков.

3. При поисках причин тектонических событий Земли необходимо учитывать ротационные и космические факторы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дараган-Сущов Ю.И.* Раннетриасовые озера Тунгусской синеклизы // История озер позднего палеозоя и раннего мезозоя. Л.: Наука. 1987. С. 249-257.

2. *Мирлин Е.Г.* Возможная природа траппового магматизма (на основе концепций вихревых движений в тектоносфере и нелинейной геофизической среды) / Е.Г.Мирлин, М.В.Кононов, Ю.В.Миронов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. 12. С. 28-41.

3. О геотектонической природе системы Центрально-Арктических морфоструктур и геологическое значение донных осадков в ее определении / В.Я.Кабаньков, И.А.Андреева, В.Н.Иванов, В.И.Петрова // Геотектоника. 2004. № 6. С. 33-48.

4. *Погребицкий Ю.Е.* Геологическая природа Арктики // Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии). СПб: Наука, 2000. С. 91-104.

5. *Погребицкий Ю.Е.* Новейшая динамика литосферы / Ю.Е.Погребицкий, Я.В.Неизвестнов // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб: ВНИИОкеангеология, 2004. Вып. 5. С. 36-52.

6. *Силантьев С.А.* Метаморфические породы дна Атлантического океана. М.: Наука, 1984. 103 с.

7. *Филатова Н.И.* Структуры Центральной Арктики и их связь с мезозойским арктическим плюмом / Н.И.Филатова, В.Е.Хаин // Геотектоника. 2009. № 6. С. 24-51.

8. *Anderson D.L.* Lithosphere, aesthenosphere, and perisphere // Rev. Geophys. 1995. Vol. 33. P. 125-149.

9. Basement geochemistry and geochronology of Central Malaita, Solomon Islands, with implications for the origin and evolution of the Ontong Java Plateau / M.L.G.Tejada, J.J.Mahoney, C.R.Neal, R.A.Duncan, M.G.Petterson // Journal of Petrology. 2002. Vol. 43. P. 449-484.

10. Bathymetry, controlled source seismic and gravity observations of the Mendeleev ridge; implications for ridge structure, origin, and regional tectonics / D.Dove, B.Coakley, J.Hooper, Y.Kristofferson // Geophys. Journal Int. 2010. Vol. 183. N 2. P. 481-502.

11. *Campbell I.H.* Large Igneous Provinces and the mantle plume hypothesis // Elements. 2006. N 1. P. 265-269.

12. Demise of the Siberian plume: paleogeographic and paleotectonic reconstruction from the prevolcanic and volcanic records, North-Central Siberia / G.K.Czamanske, A.B.Gurevich, V.Fedorenko, O.Simonov // Int. Geol. Rev., 1998. N 40. P. 95-115.

13. Deep structures and breakup along volcanic rifted margins: Insights from integrated studies along the outer Voring Basin (Norway) / L.Gernigon, J.C.Ringenbach, S.Planke, B.Le Gall // Marine and Petroleum Geology, 2004. Vol. 21. N 3. P. 363-372.

14. *Foulger G.R.* A cool model for the Icelandhotspot / G.R.Foulger, D.L.Anderson // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2005. N 141. P. 1-22.

15. *Ihinger P.D.* Mantle flow beneath the Pacific plate: evidence from seamount segments in the Hawaiian-Emperor chain // American Journal of Science. 1995. Vol. 295. P. 1035-1057.

16. *Korenaga J.* Mantle mixing and continental breakup magmatism // Earth Planet. Sci. Lett., 2004. Vol. 218. P. 463-473.

17. *McHone J.G.* Non-plume magmatism and rifting during the opening of the central Atlantic Ocean // Tectonophysics. 2000. Vol. 316. P. 287-296.

18. *Menke W.* Cold crust in a hot spot / W.Menke, V.Levin // Geophys. Res. Lett. 1994. Vol. 21. N 18. P. 1967-1970.

19. *Sheth H.C.* Were the Deccan flood basalts derived in part from ancient oceanic crust within the Indian continental lithosphere? // Gond. Res., 2005. N 8. P. 109-127.

20. *Shilling J.G.* Iceland mantle plume // Nature. 1973. Vol. 242. N 54. P. 565-571.

21. *Smith A.D.* The planet beyond the plume hypothesis / A.D.Smith, Ch.Lewis // Earth-Science Reviews.1999. Vol. 48. P. 135-182.

22. *Stuart W.D.* Propagation of the Hawaiian-Emperor volcano chain by Pacific plate cooling stress / W.D.Stuart, G.R.Foulger, M.Barall // Geological Society of America Special Paper 430. Ed. by G.R.Foulger and D.M.Jurdy. 2007. P. 497-506.

23. *White R.S.* Mantle plume and flood basalts / R.S.White, D.McKenzie // J. Geophys. Res. 1995. Vol. 100. N B9. P. 17543-17585.

24. *Zhao D.* Global tomographic images of mantle plumes and subducting slabs: insight into deep Earth dynamics // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2004. Vol. 146. P. 3-34.

***Автор* Ю.И.Дараган-Сущов**, *канд. геол.-минерал. наук*, *ведущий научный сотрудник*, *daragan-sushchov.iury@yandex.ru* (*ВНИИОкеангеология имени академика И.С.Грамберга*, *Санкт-Петербург*, *Россия*).

Статья принята к публикации 16.11.2016.