

УДК 552.313+551.2

**Е.В. Львова<sup>1</sup>****ТЕКТОНИКА МАНТИЙНЫХ ПЛЮМОВ: ЭВОЛЮЦИЯ ОСНОВНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ**

Проанализировано развитие основных направлений плюмтектоники со времени ее возникновения до современного этапа. Впервые прослеживаются изменения представлений о плюмах по 5 важнейшим критериям: размерам области их проявления на земной поверхности, геохимическим особенностям вулканитов, наличию стационарных координат относительно ядра, соответствию структурному плану литосферы, соответствию циклам эволюции литосферы. Рассмотрены три этапа во взаимоотношениях плейт- и плюмтектоники. Вопрос о соотношении механизмов плейт- и плюмтектоники исключительно важен для понимания связи между внутриплитной динамикой и процессами на границах плит для построения глобальной геодинамической теории.

*Ключевые слова:* мантийные плюмы, плейттектоника, внутриплитный магматизм.

For the first time three stages of evolution of plume-tectonics ideas and views are considered by five important criteria: 1) area of magmatic manifestations at the Earth surface; 2) particularities of geochemical compositions of igneous rocks, associated with plumes; 3) stationary position relatively to Earth's core; 4) correspondence with lithospheric structure; 5) correspondence with cyclicality of lithosphere evolution. The conception of relationship between plume- and plate-tectonic mechanisms is very important for global geodynamic theory and for interpretation of intraplate magmatism and some lithospheric structures linked with them.

*Key words:* mantle plumes, plate-tectonics, intraplate magmatism, large igneous provinces.

**Введение.** Со времени возникновения первых представлений о горячих точках и мантийных струях прошло около 40 лет, и интересно проследить, как эволюционировали взгляды на эти проявления глубинной геодинамической активности. Автор статьи выделяет в этих исследованиях три этапа.

1. Будучи почти ровесницей тектоники плит, тектоника плюмов (тогда она именовалась гипотезой горячих точек и мантийных струй) возникла вследствие необходимости объяснить особую группу внутриплитных явлений, которые, казалось, не находили объяснения в рамках исходных представлений тектоники плит. Таким образом, в то время тектонику плюмов рассматривали как своеобразное дополнение к теории тектоники плит, призванное интерпретировать глубинные механизмы относительно небольшой группы явлений, на долю которых приходится не более 10% эндогенной энергии.

2. Затем по мере развития сейсмоотографии, глубинного зондирования и компьютерного моделирования тектоника плюмов стала бурно развиваться, претендуя на все более широкий спектр тектонических процессов и явлений, традиционно объясняемых с позиций плейттектоники. В это время наметились тенденции к противопоставлению плейт- и плюмтектоники. Это касалось глубины уровня зарождения магматических очагов, взаимоотношения процессов мантийной конвекции с идущими ей наперерез от границы ядра и мантии до подошвы литосферы узкими каналами мантийных плюмов.

Это относится и к появившимся в ряде работ попыткам разделить спрединг и субдукцию как разные ветви единого глубинного геодинамического процесса. Имеются в виду тенденции объяснять рифтинг, раскол суперконтинентов действием плюмов, а субдукционные процессы — действием сил тектоники плит. В этом случае ранние стадии спрединга (континентальный рифтинг) и часто сопряженный с ним трапповый магматизм, приписываются действию тектоники плюмов, а дальнейшее развитие процесса и его более поздние стадии — принципиально иному механизму тектоники плит.

Возникли представления о расслоенности мантии и квазиавтономном функционировании верхней и нижней мантии. Ряд авторов полагают верхнюю мантию областью господства тектоники плит, а нижнюю — областью проявления тектоники плюмов.

3. На новейшем, третьем этапе развития этих представлений появляются идеи синтезировать плейт- и плюмтектонику, попытки связать воедино столь разные и, казалось бы, взаимоисключающие механизмы их действия.

Поэтому возникла необходимость создать единую геодинамическую теорию, не противопоставляющую данные плейт- и плюмтектоники, а главное, наиболее адекватно и полно учитывающую наблюдаемые геологические данные о составе, строении и эволюции земной коры и литосферы. Значительный вклад в синтез плейт- и плюмтектоники внесли отечественные ученые [Лобковский и др., 2004; Никишин и

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Музей землеведения, науч. с., тел.: 8-495-939-18-23.

др., 2002]. Большой известностью пользуется модель японских авторов [Maquyama, 1994].

**Анализ эволюции основных представлений.** Попробуем проследить, как изменились представления о наиболее очевидных, классических проявлениях действия мантийных струй-плюмов по следующим критериям: 1) размеру области проявления магматизма на земной поверхности и размерам и форме самого плюма; 2) геохимическим особенностям вулканитов, генерируемых плюмами, и их отличиям от вулканитов, порожденных процессами плейттектоники; 3) наличию стационарных координат относительно ядра; 4) соответствию существующим геологическим структурам, т.е. в пространстве; 5) соответствию тектонике плит в отношении крупнейших тектонических циклов эволюции литосферы, т.е. во временном аспекте.

**Размер и форма области проявления магматизма на земной поверхности и размер и форма самого плюма.** В трудах основоположников гипотезы горячих точек — мантийных струй постулировалось, что поверхностное проявление магматизма — точка, сопоставимая по размерам с кратером действующего вулкана. К этой горячей точке подходит узкая струя перегретого мантийного вещества, идущая от слоя  $D''$ , пробивающая всю толщу мантии и литосферу и не отклоняющаяся при этом от вертикального положения.

Впоследствии эти представления столь существенно преобразовывались, что уже ни о точках, ни о струях теперь не говорят. Обширнейшие области развития континентальных траппов с поперечником до 2000 и даже до 3000 км связывают с подходом к подошве литосферы головы плюма, имеющей диаметр от 1000 до 2000 км. Хвост плюма более тонкий уходит до слоя  $D''$ , откуда и поступает перегретое вещество в магматический резервуар головы плюма. Позднее в работе [Larson, 1991] суперплюмы были предложены для объяснения излияний в пределах Тихого океана в среднем мелу колоссального количества базальтоидов, сформировавших океаническое плато. Считается, что аналогичный суперплюм, имеющий размеры 4000 км с запада на восток и 3000 км с севера на юг, обусловил многочисленные проявления платобазальтового вулканизма в Евразии на границе перми и триаса.

В работе [Condie, 1998] предложено все плюмы, поднимающиеся от уровня  $D''$ , назвать суперплюмами, в отличие от плюмов, поднимающихся с менее глубоких уровней. Суперплюм — синоним обширного мантийного апвеллинга, выраженного в положительных аномалиях геоида и проявляющегося в виде полей развития горячих точек и больших магматических провинций (БМП) в областях Тихого океана и Африки. Под суперплюмовым событием указанный автор понимает краткую, меньше 100 млн лет, массовую бомбардировку плюмами какого-либо участка литосферы.

В работе [Добрецов, 1997] сделано предположение, что суперплюм ответствен за раскол Гондваны.

В связи с этим нужно отметить следующее. Если раскол континентов приписывать действию плюмов, которые по определению являются случайными, эпизодическими событиями, не имеют связи с тектоникой плит и с глобальной цикличностью в эволюции литосферы, то раскол суперконтинентов надо считать случайным событием, а не закономерной стадией круговорота вещества и системе мантия—литосфера в направленной эволюции Земли. Тем самым отрицаются важнейшие достижения теории тектоники плит, которая установила закономерности в направленном и цикличном развитии всей Земли и литосферы в частности.

В работе [Brunet, 2000] выделены три типа суперплюмов: 1) вертикальные, остающиеся стационарными ~200 млн лет; 2) нестабильные, т.е. отклоняющиеся мантийными потоками и часто обезглавленные; 3) суперплюмы, возникающие благодаря слиянию нескольких плюмов во время их подъема.

Высокий эндотермический уровень Африки, согласно работе [Ernst, 2002], поддерживается динамическим эффектом подстилающего мантийного апвеллинга. А причину подъема глубинного мантийного апвеллинга можно усмотреть в возвращении в мантию охлажденного субдуцированного слэба.

По мере приближения плюма к литосфере его радиус удваивается при растекании, а скорость резко снижается [Ernst, 2002]. Вещество плюма часто надолго задерживается у подошвы литосферы, не вызывая вулканизма, это так называемый инкубационный период [Campbell, 2006]. Может происходить разделение глубинного плюма на уровне средней мантии с образованием вторичных плюмов. Эти и другие утверждения полностью опровергают представления о мощной струе перегретого вещества, прорывающей мантию и имеющей изначальный хондритовый состав.

Если считать движущими силами подъема плюма огромную разность в значениях температуры и вязкости, различие в химическом составе вещества плюма и окружающей мантии, то тогда не могут иметь места такие явления, как растекание вещества у подошвы литосферы, ослабление, удвоение радиуса головы плюма, отстаивание на промежуточных уровнях, разделение на вторичные плюмы, поиск плюмом ослабленных зон в литосфере. В работе [Ernst, 2002] сделано предположение, что во время Карру-Феррарского события (183 млн л.н.) действовали три или четыре синхронных центра, расстояние между которыми превышало 1000 км. Ссылаясь на близкие значения возраста, этот автор готов объединить в одно суперплюмовое событие такие провинции: 1) о. Тристан-да-Кунья и Парана-Этендекскую провинцию; 2) о. Святой Елены и экваториальную Циркуматлантическую провинцию, дайки Северо-Восточной Бразилии, Рио-Сеара, трог Бэнуэ; 3) о. Мадейра и дайки Юго-Западной Гренландии.

Еще в 1983 г. [Зоненшайн, 1983] в пределах мантии были выделены четыре поля: два больших

и горячих диаметром до 10–12 тыс. км — Тихоокеанское и Африканское (положительные аномалии поверхности геода +80 м) и два малых и холодных диаметром до 2–3 тыс. км — Центрально-Азиатское и Австрало-Антарктическое (отрицательные аномалии до –80 м). Данные сейсмографии указывают на существование высоко- и низкоскоростных зон в мантии, подтверждая это.

В работе [Лобковский и др., 2004] отмечено, что Африкано-Атлантическая плюмовая провинция простирается от Северного Ледовитого океана на юг до Индийского океана на расстояние около 20 тыс. км. Далее эти авторы указывают: «Наблюдается генеральное совпадение в плане плюмовых провинций и спрединговых зон срединно-океанских хребтов <...> Наиболее активные горячие точки Исландии, Вознесения, Тристан-да-Кунья, Крозе иногда совпадают со спрединговыми хребтами. Это указывает на то, что спрединговые хребты и плюмы частично взаимосвязаны».

В работе [Anderson, 1995] утверждается, что субдуцирующая океаническая литосфера Тихого океана порождает спрединг в Атлантическом океане. С этими представлениями можно безоговорочно согласиться в том, что осуществляется мантийная конвекция в виде замкнутой ячеи, обеспечивающей круговорот вещества и энергии, погрузившиеся массы имеют своим антиподом восходящий конвективный поток, порождающий спрединг, т.е. здесь все-таки причина спрединга усматривается в подъеме ранее субдуцированного вещества.

Авторы указанной работы справедливо утверждают, что под суперконтинентами в результате перегрева мантии формируется устойчивый поток восходящей ветви мантийной конвекции, над которыми впоследствии формируются океаны.

Итак, представления постепенно изменяются — от отдельных горячих точек к плюмам с головой до 2 тыс. км в диаметре при подходе к литосфере, которые могут быть ответственны за формирование больших магматических провинций и провинций континентальных траппов, затем — к суперплюмам и суперплюмовым провинциям, которые имеют протяженность до 20 тыс. км и хорошо коррелируют с горячими областями мантии. Это привело исследователей к сопоставлению провинций развития горячих точек со спрединговыми хребтами.

Таким образом, от противопоставления механизмов плюм- и плейттектоники исследователи пришли к идее их единства, взаимосвязи и подчиненности действию глубинных восходящих потоков мантийного вещества, которые в свою очередь тесно связаны с субдукционными процессами.

Столь горячий сторонник гипотезы плюмов, как Р.Е. Эрнст [Ernst, 2002], констатируя ответственность плюмов за формирование тройных сочленений, сводовых поднятий, роев даек, за континентальный рифтинг и наконец за раскол континентов, факти-

чески отдает плюмам решающую роль в управлении плитной тектоникой, переводя тем самым «особые плюмовые механизмы» в классические проявления тектоники плит.

Введение понятий о суперплюмах, мантийных апвеллингах, по существу, тождественно первоначальному варианту восходящего потока мантийной конвекции и отличается от него не столько сутью явлений, сколько употребляемыми терминами.

Это весьма важно для дальнейшей разработки механизмов формирования БМП и континентальных трапповых провинций.

**О геохимических особенностях вулканитов.** Изначально отмечалось резкое отличие магматизма горячих точек — вулканитов океанических островов — от магматизма спрединговых хребтов. Геохимические особенности вулканитов горячих точек считались важнейшим критерием, дающим право выделять эти образования в особую группу и искать для них особый механизм формирования.

Обогащенные базальты, отличающиеся от океанических толеитов повышенными щелочностью и содержанием литофильных элементов (в 1,5–2 раза больше по сравнению с базальтами MORB), а также обогащенностью некогерентными элементами (Rb, Sr, Zr, K, P, Ti, Nb, Ba, La), считали результатами проявления плюма. При этом допускалось, что подобные магмы могут происходить из очагов, расположенных на уровне нижней мантии и на границе раздела ядра и мантии, т.е. на уровне слоя D". Их важнейшие черты:

1) выдержанность и монотонность состава внутри самих вулканитов горячих точек; геохимическое подобие всех вулканитов, формирующихся над мантийными струями, что свидетельствует о единстве места и условий образования питающего очага и подъеме расплава к поверхности;

2) резкое отличие от всех других типов вулканитов, сформировавшихся в результате действия силами тектоники плит из не столь экзотических очагов, т.е. не столь глубинных и не претендующих на первоначальный состав земного вещества, якобы не прошедшего ни химико-плотностной дифференциации, ни конвективного перемешивания в результате мантийно-литосферного круговорота вещества;

3) исключительно высокая температура расплава;

4) неизменный при подъеме к поверхности состав, отражающий состав нижнемантийного вещества.

В дальнейшем, по мере того как с деятельностью мантийных струй стали связывать все более широкий спектр внутриплитных магматических явлений, представления о геохимической специфике продуктов плюмового магматизма радикально изменились.

Как отмечается в работе [Грачев, 2002], данные изотопии свидетельствуют о существенной гетерогенности источников мантийных плюмов. Приводятся интересные примеры, когда отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  на расстоянии 4 км в расслоенной интрузии Калвегглет-

чер в Восточной Гренландии изменяется от 0,7040 до 0,7060, в пределах нека вулкана Тумбусун-Дулга (хр. Хамар-Дабан) в радиусе ~50 м вариации изотопного состава базальтов составляют для  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0,7037–0,7045, а для  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  — 0,5127–0,5129.

В пределах континентальных траппов широко представлены многообразие и пестрый состав вулканитов.

Так, в Парана-Этендекском бассейне многие лавовые свиты в юго-восточной части провинции представлены риолитами. Более того, наблюдается определенная геохимическая цикличность внутри самих лавовых свит: извержение начинается с базальтовых лав, а завершается риолитами. Вообще для Парана-Этендекского бассейна характерна ярко выраженная бимодальность вулканитов.

В Тунгусском бассейне также ярко выражена геохимическая цикличность в образовании лавовых покровов: начинают серию пикритовые высокомагнезиальные расплавы (с содержанием  $\text{MgO}$  до 17%), а заканчивают типичные океанические толеиты. Это говорит об изменении состава продуктов извержения во времени. Весьма характерно и изменение состава лав в пространстве. Так, в Тунгусском бассейне в южном и восточном направлениях континентальные толеиты и базальтоиды уступают место андезитам, дацитам, даже риолитам, проявляется пестрый состав лав, повышается щелочность пород.

Таким образом, приведенные факты опровергают существование единого глубинного источника с монотонным составом.

Области развития кольцевых щелочно-ультраосновных интрузий, часто соседствующих с траппами, также стали приписывать действию плюмов. Но здесь совершенно иной химизм продуктов магматизма и иной температурный режим их формирования. И, что важно, кольцевые интрузии, как и алмазонасные кимберлиты, развиваются в условиях всестороннего сжатия, в отличие от траппов, возникающих благодаря растяжению.

Даже для океанических поднятий с их более монотонным составом, нежели у континентальных траппов, в работе [Фролова, 1997] выделено 5 различных серий.

Как считают авторы работы [Saunders et al., 1992], для разных областей внутриплитового магматизма характерны особенности: их магматизм то похож на магматизм срединно-океанических хребтов, то существенно отличается от него.

Авторы работы [Кузьмин и др., 2003] констатируют приуроченность пород с повышенной щелочностью, в том числе базальтов океанических островов, к E-MORB-разновидности магм, т.е. к магматическим очагам с повышенным содержанием литофильных элементов по сравнению с N-MORB. Эти же авторы считают, что внутриплитный магматизм имеет своим источником либо первично недеплетированную мантию типа PREMA, либо обогащенную мантию

EM-I и -II. Эта обогащенная мантия обязана своим составом привнесению литофильных элементов вместе с субдуцированными литосферными слэбами, т.е. процессам рециклинга. Второе предположение представляется более правдоподобным, если учесть, что за всю геологическую историю химико-плотностная дифференциация первичного земного вещества охватила всю мантию и неоднократно совершался полный рециклинг вещества в системе кора–мантия, выраженный в структуре литосферы неоднократно завершением циклов Вилсона. Влиянием затянутого по зонам субдукции вещества коры объясняется также обогащенность Nd и Sr магм типа EM-I.

Согласно представлениям, разрабатываемым в последние десятилетия [Campbell, Davis, 2006], плюм, подходя к подошве литосферы, растекается и приобретает грибообразную форму. Эта «шляпка гриба» может длительное время (несколько миллионов лет) находиться у подошвы литосферы в инкубационном периоде, т.е. не вызывать интенсивный наземный вулканизм. За это время вещество плюма смешивается с веществом астеносферы, вызывает частичное плавление коры и взаимодействует с коровым веществом, обогащаясь литофильными элементами. Это дало основание многим авторам утверждать, что плюмовое вещество имеет гетерогенные источники и сильно перемешано.

В работе [Грачев, 2002б] сделан вывод, что контаминацией первичных расплавов базальтов веществом литосферы можно объяснить все вариации составов мантийных плюмов, не прибегая к различиям в составе мантийного источника.

Таким образом, по мере развития представлений о деятельности плюмов и по мере отнесения к ним все более широкого спектра магматических проявлений плюм утратил свое особое «геохимическое» лицо. Это заставило многих исследователей искать объяснения наблюдаемого многообразия не в геохимической специфике глубинных источников, а во взаимодействии мантийного вещества с резко гетерогенным веществом литосферы. Процессам внутрикамерной дифференциации магматических очагов, контаминации, в том числе с участием вещества субдуцированных слэбов, и геодинамическим обстановкам развития внутриплитного магматизма стали уделять основное внимание.

**О стационарных координатах.** Исходно предполагалось, что плюм, будучи мощнейшей струей, пробивающей и мантию и литосферу, обладает строго стационарным положением относительно земного ядра [Лобковский и др., 2004; Campbell, Davis, 2006]. Благодаря этому положение плюмов принималось в качестве надежного и неподвижного репера, относительно которого можно вычислить движение литосферных плит. Конечно, при этом подразумевалось, что плюмы не двигаются вместе с плитами и имеют совершенно иную природу.

Однако в работе [Кузьмин и др., 2003] предпринята попытка реконструировать положение Сибири в фанерозое в абсолютной системе координат по палеомагнитным данным в предположении, что во время формирования Тунгусских траппов Сибирский континент находился над горячей точкой Ян-Майен. То есть, как предполагают указанные авторы, с кембрия до мезозоя Сибирь находилась в зоне влияния Африкано-Атлантического горячего поля мантии Земли, они именуют систему плюмов, воздействовавших на Сибирь в фанерозое, Северо-Азиатским суперплюмом.

Здесь возникают два вопроса: во-первых, как объяснить, что над горячим полем столь активно шли субдукционные процессы при закрытии Палеоазиатского и Палеоуральского океанов именно в это время, а во-вторых, где следы горячей точки Ян-Майен с кембрия до ее современного положения?

Далее эти же авторы отмечают, что происходили перемещения литосферно-мантийных блоков вплоть до слоя, питавшего внутриплитную активность, и таким образом сохранялись корневые системы мантийных струй и постоянство областей проявления внутриплитового магматизма при изменении географического положения континента.

То есть показано, что континент «тащит за собой корни плюмов», плюмы увлекаются движениями, которые вызывают силы тектоники плит, затем отрываются от уровня  $D''$  и вовсе не являются стационарными реперами. Напрашивается предположение, что очаг, питающий этот «плюмовый магматизм», является внутрилитосферным.

С этим согласуется представление [Лобковский и др., 2004] о «ленивых плюмах», ответственных за вулканизм поднятий Хоггар, Тибести и Драфур в Северной Африке. Так как вулканизм здесь эпизодически повторяется на одних и тех же местах с эоцена до настоящего времени, а Африка дрейфует в северо-восточном направлении, есть основания полагать, что это также пример внутрилитосферных магматических очагов.

Таким образом, очевидно, что в ряде случаев плюмы не обладают стационарным положением, относительно которого независимо движутся литосферные плиты. Из этого следуют два существенных вывода, заставляющих пересмотреть первоначальные представления. Во-первых, поднимающаяся струя плюма не столь мощная и обособленная, чтобы противостоять мантийной конвекции и «игнорировать» движение литосферных плит. Во-вторых, факт перемещения области внутриплитового магматизма вместе с литосферной плитой свидетельствует о зарождении очага питания магматизма в самой литосфере или в ее подошве, а не на уровне  $D''$ .

**Соответствие крупнейшим геологическим структурам.** Исходно принималось, что плюм, будучи независимым от тектоники плит, имея иную природу, обладая колоссальной мощностью в узком канале,

может внедриться в любом месте континента и океана, т.е. плюмы «игнорируют» структурный план литосферы, созданный силами тектоники плит.

Однако плюмы не внедряются в архейские кратоны с их мощными литосферными корнями. Плюмы избегают внедряться в складчатые пояса и мезозойско-кайнозойские орогены. Плюмы часто следуют срединно-океаническим хребтам, точкам тройных сочленений, областям континентального рифтогенеза, глубинным разломам.

В работе [Ernst, Buchan, 2002] утверждается, что плюмы ответственны за формирование точек тройного сочленения, за сводовые поднятия, раскол континентов, образование континентальных и океанических траппов, роев даек, офиолитов, архейских зеленокаменных поясов, за утонение литосферы, карбонатитовый и кимберлитовый вулканизм.

Таким образом, можно видеть, что в свете новейших взглядов отмечается определенная корреляция между областями внедрения плюмов и структурным планом литосферы, созданным за всю геологическую историю силами тектоники плит.

**Соответствие крупнейшим тектоническим циклам эволюции литосферы тектонике плит.** В работе [Ernst, Buchan, 2002] показано, что появление плюмов не носит периодического характера и не связано с суперконтинентальными циклами в 500 млн лет. Авторы работы [Yale, Carpenter, 1998], используя материалы по роям даек, пытались доказать, что периодичность появления плюмов составляет 300–500 млн лет, в то время как К. Конди [Condie, 1998] утверждает, что суперплюмовые события происходили в литосфере 2,7; 1,9; 0,48; 0,28 и 0,1 млрд л.н. Ряд исследователей полагают, что в фанерозое плюмовые события имеют периодичность в 50–70 млн лет и проявлялись 375, 300, 250, 200, 145–135 и 65 млн л.н.

В работе [Грачев, 2002a] развиваются представления о периодичности появления мантийных плюмов, фиксируемых по областям развития разновозрастных трапповых провинций и провинций щелочно-ультраосновного магматизма. На этом основании он высказал предположение о связи биологических катастроф в истории Земли с эпохами интенсивной плюмовой активности.

Совершенно иную точку зрения предлагают А.М. Никишин и П. Циглер с соавторами. Они развивают гипотезу о существовании двух типов суперплюмовых событий, обнаруживающих определенную связь со становлением и распадом суперконтинентов [Никишин, Циглер, 1999]. Первый тип связан с началом распада суперконтинента Пангея. Приводится пример пермотриасового события, продолжавшегося ~10 млн лет на ранних стадиях распада Пангеи. Второй тип суперплюмовых событий они соотносят со стадией максимального разобшения осколков бывшего суперконтинента и раскрытия разделяющих их молодых океанов. Примером является формирование в раннем мелу океанического плато Отонг-Джава.

На вопрос о связи плюмов с кинематикой литосферных плит в работе [Лобковский и др., 2004] дан ответ: эпохи внедрения плюмов не связаны с тектоническими процессами в литосфере. Но затем эти авторы делают оговорку, что, вероятно, во время фаз регионального растяжения литосферы, связанных с перестройкой кинематики плит, облегчается всплытие мантийных плюмов.

**Заключение.** На раннем этапе развития плюмтектоники плюмы как геодинамический феномен характеризовались рядом отличительных черт. Однако по мере распространения гипотезы тектоники плюмов на все более широкий круг геологических структур и явлений все эти отличия были либо полностью утрачены, либо изменены на противоположные. Неоднократно предпринимались попытки прийти к единому мнению о том, что же представляют собой

плюмы, созывались международные конференции и симпозиумы, однако до сих пор на этот счет нет ясных и единых представлений, как отмечается в работах [Пучков, 2009; Campbell, 2005; Campbell, Davis, 2006]. Несмотря на многочисленные попытки синтезировать плюм- и плиттектонику, причем некоторые из которых весьма плодотворны, нельзя считать этот фундаментальный вопрос решенным.

Поиск истинных соотношений глубинных геодинамических механизмов, ответственных за реально наблюдаемую структуру и динамику земной коры и литосферы, продолжается.

Автор глубоко благодарна академику РАН **В.Е. Хаину** за многократные содержательные обсуждения этого непростого и важного для геодинамики вопроса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Грачев А.Ф.* Мантийные плюмы и биологические катастрофы в истории Земли // Мантийные плюмы и металлогения // Мат-лы Междунар. симпозиума. Петрозаводск; М., 2002а. С. 70–76.

*Грачев А.Ф.* В поисках обоженного изотопно-геохимического портрета мантийного плюма (первые результаты) // Там же. 2002б. С. 77–85.

*Добрецов Н.Л.* Мантийные суперплюмы как причина главной геологической периодичности и глобальных перестроек // Докл. РАН. 1997. Т. 357, № 6. С. 797–800.

*Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И.* Внутриплитовый магматизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли // Геотектоника. 1983. № 1. С. 28–45.

*Кузьмин М.И., Альмухамедов А.И., Ярмолюк В.В., Кравчинский В.А.* Рифтогенный и внутриплитовый магматизм, соотношение с «горячими» и «холодными» полями мантии // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 12. С. 1270–1279.

*Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Научный мир, 2004. 612 с.

*Никишин А.М.* Тектоника мантийных плюмов и тектоника литосферных плит // Мат-лы 34-го Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2001. Т. 2. С. 74–77.

*Никишин А.М., Циглер П.А.* Внутриплитная тектоника и магматизм на границе перми и триаса как реакция на глобальную реорганизацию кинематики плит и нестабильность мантийной динамики // Мат-лы 32-го Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 1999. Т. 2. С. 39–42.

*Никишин А.М., Якобчук А.С.* Модель глобальной тектоники — взаимодействие плит и плюмов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2002. Т. 77, № 2. С. 3–18.

*Пучков В.Н.* «Великая дискуссия» о плюмах: так кто же все-таки прав? // Геотектоника. 2009. № 1. С. 3–22.

*Фролова Т.И., Бурикова И.А.* Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 320 с.

*Anderson D.L.* Lithosphere, asthenosphere and perisphere // Rev. Geoph. 1995. Vol. 33, N 1. P. 125–149.

*Brunet D., Yuen D.A.* Mantle plumes pinched in the transition zone // Earth and Planet. Sci. Lett. 2000. Vol. 178. P. 13–27.

*Campbell I.H.* The great plume debate // Episodes. 2005. Vol. 29, N. 2. P. 133.

*Campbell I.H., Davis G.F.* Do mantle plumes exist? // Ibid. 2006. Vol. 29, N 3. P. 162–168.

*Condie K.C.* Episodic continental growth and supercontinents: a mantle avalanche connection // Earth and Planet. Sci. Lett. 1998. Vol. 163. P. 97–108.

*Ernst R.E., Buchan K.L.* Maximum size and distribution in time and space of mantle plumes: evidence from large igneous provinces // J. of Geodynamics. 2002. Vol. 34. P. 309–342.

*Larson R.L.* Latest pulse of Earth: evidence for a mid-Cretaceous superplume // Geology. 1991. Vol. 19. P. 547–550.

*Maruyama S.* Plume tectonics // J. Geol. Soc. Japan. 1994. Vol. 100, N 1. P. 24–49.

*Saunders A.D., Storey M., Kent R.W., Norry M.J.* Consequences of plume-lithosphere interactions // Magmatism and the causes of continental break-up (Geol. Soc. Spec. Publ. 1992. N 68. P. 41–60).

*Yale L.B., Carpenter S.J.* Large Igneous Provinces and Giant Dike Swarms: Proxies for Supercontinent Cyclicity and Mantle Convection // Earth and Planet. Sci. Lett. 1998. Vol. 163. P. 109–122.