

Ильяш В.В. «Геоактивные зоны»

Лекция 6

Плюмы и их роль в теории геодинамики и экологической практике

1. Представления о плюмах

Особенность «горячих точек» как проекции плюмов на поверхность в том, что их положение не зависит от движения литосферной плиты, потому что положение плюмов не связано с конвективными течениями астеносферного слоя основания литосферы. Плюмы на поверхности Земли проявляют себя в виде вулканических извержений, как правило, щелочного состава (Добрецов и др., 2001). Они приурочены не к границам плит, а расположены внутри них или в местах тройного сочленения рифтов. По современным данным и взглядам, представляет собой всплывающий более легкий и горячий (по сравнению с окружающей средой) материал от границы с ядром (нижнемантийные плюмы) или от границы нижней и верхней мантии.

Когда плюм двигается в мантии, он состоит обычно из головы и хвоста. Путь его продвижения от источника не обязательно строго вертикален, часто наклонный и более сложный. При достижении холодной и малопроницаемой литосферы голова плюма уплощается (растекается). Размер головы зависит от глубины зарождения плюма, так голова нижнемантийных плюмов достигает 1000 км и ее диаметр удваивается при растекании под литосферой. Плюмы приурочены к тройным рифтовым сочленениям, обнаруживаются на поверхности по горячим точкам, куполообразным поднятиям и, особенно, по крупным вулканическим провинциям внутриплитного основного (траппового) магматизма, системам радиально расходящихся основных даек, возможно, к ним же относятся архейские зеленокаменные пояса, содержащие коматииты (высокомагнезиальные ультраосновные породы).

Внутриплитный (плюмовый) магматизм отличается повышенными содержаниями магния, железа, титана. Прямой палеомагнитный признак связи плюма с границей ядра и мантии – это рост амплитуды вариаций геомагнитного поля и рост дисперсии вариаций примерно в 1,5 раза по мере приближения к эпицентру плюмового магматизма. Многие исследователи связывают плюмы и такие явления на поверхности Земли, как вариации в изотопном составе морских карбонатов, подъем морского уровня, образование железных формаций, эпизоды аноксии (недостатка кислорода) вымирания биоты, раскол континентов, падение крупных метеоритов и т.д.

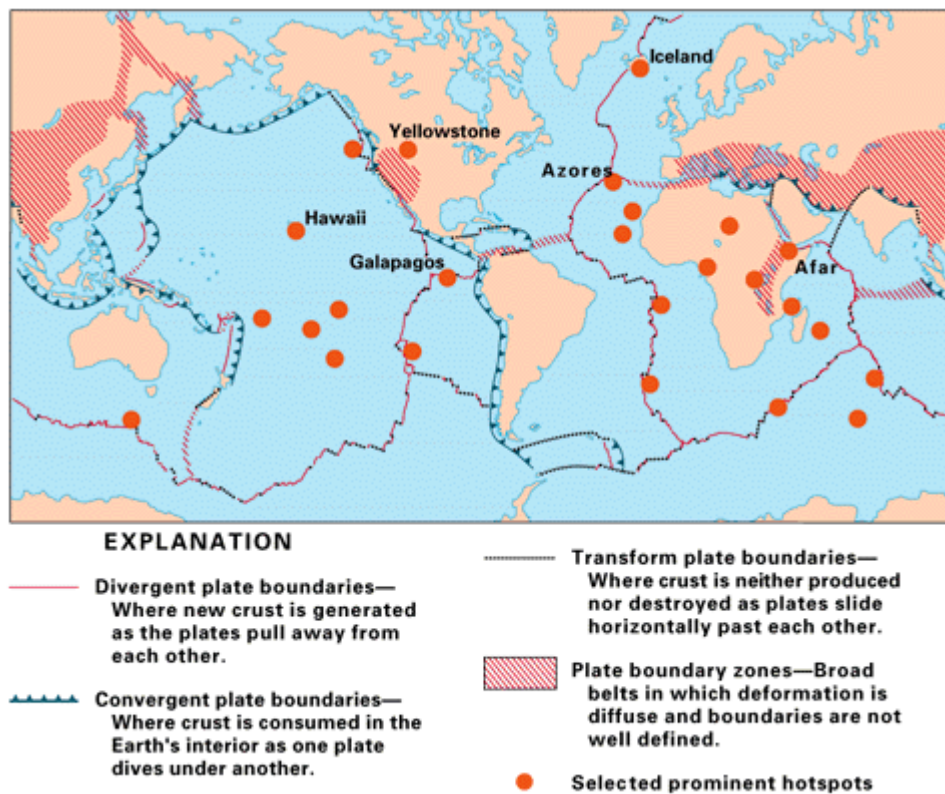


Рис. 1 Карта горячих точек

Теория плюмов первоначально была предложена канадским геофизиком Дж. Т. Уилсоном в 1969 году; в ней существование восходящих конвективных потоков в земной мантии постулировалось для объяснения наличия горячих точек. Первоначально Уилсон применил концепцию плюма к Гавайским островам, сумев объяснить увеличение возраста гор Гавайского подводного хребта по мере удаления от текущего местоположения горячей точки. По мнению Уилсона, Гавайские острова возникли как часть тектонической плиты (распространяющейся на значительную часть Тихого океана), которая смещается на северо-запад над фиксированной горячей точкой; последняя и проявляет себя в виде цепочки вулканов.

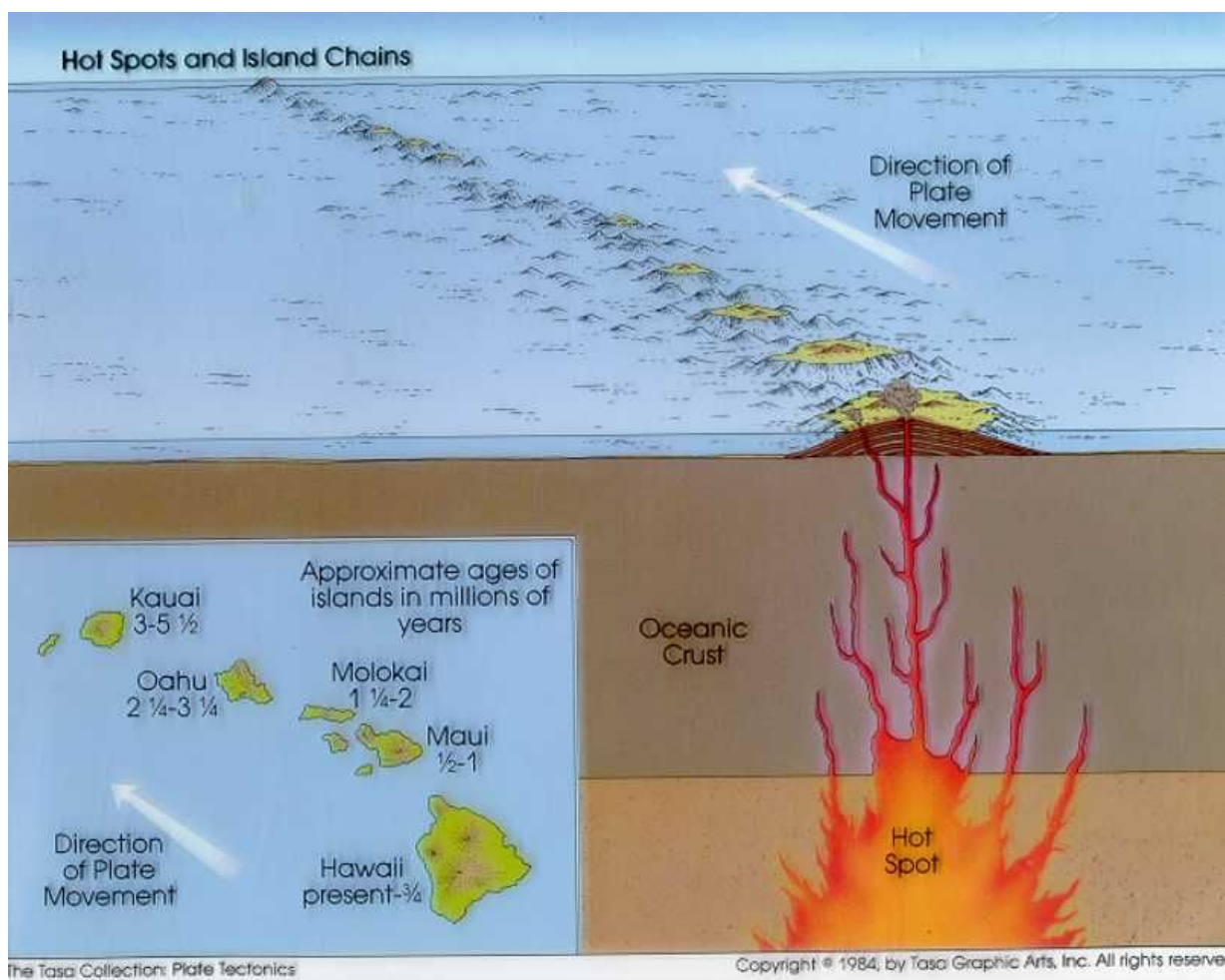


Рис.2 Схема функционирования Гавайского плюма

Большинство изученных мантийных аномалий начинаются в пограничном слое между мантией и внешним ядром, так называемом D" слое, в котором наблюдается значительное увеличение температуры. Как в любой расслоенной гидродинамической системе с ярко выраженным термоклинном, на этой границе возникают неоднородности, которые могут перерасти в мантийный плюм различных размеров.

По одной из других гипотез, мантийный плюм начинает функционировать, когда несколько континентальных плит собираются в суперконтинент, препятствуя выходу внутриземного тепла наружу. Образующийся восходящий конвективный поток в мантии приподнимает плиту в виде свода, меняя форму геоида (к примеру, в районе Гавайского плюма и сейчас существует 50 метровая выпуклость). Далее суперконтинент разрушается по сформировавшимся трещинам, а сам плюм может существовать после этого еще длительное время (до миллиарда лет)

До настоящего времени достоверно не выяснены взаимоотношения между плюмами и конвективными ячейками в мантии, предполагающимися теорией литосферных плит. Однако, установлено, что некоторые мантийные плюмы в течение длительного времени сохраняли стационарное положение^[4].

2. Механизм возникновения плюмов

Плюмы поднимаются из глубоких слоев мантии, так как их вещество легче окружающих пород, а вязкость этих пород достаточно мала, чтобы в мантии стал возможным режим течения. Они ведут себя как пластическое твердое тело (возможно, частично расплавленное) и поднимаются подобно соляным диапирам. Вязкость вещества мантии в плюмах порядка 10^{19} пуаз. Поднимаясь, вещество плюма подвергается внутренним деформациям, что порождает очень характерную структуру. Для ксенолитов мантии в вулканических породах, излившихся в горячих точках, типична деформационная структура, которая вызвана пластическим течением при подъеме мантийного диапира (плюма).

Уменьшение давления в веществе плюма приводит к росту содержания в нем расплава, что в еще большей степени способствует подъему плюма. Этим же объясняется повышенная вулканическая активность в районах горячих точек, в основе которой лежит механизм дифференциации вещества плюма: более легкая расплавленная фаза отделяется от твердого остатка.

Мантийные плюмы, по мнению Н.Л.Добрецова могут зарождаться на трех уровнях: в верхней мантии, в частности при плавлении субдуцировавшей плиты; на границе верхней и нижней мантии на глубине 670 км; на границе нижней мантии – ядро. Природа этих плюмов может быть либо чисто тепловая (при плавлении окружающего субстрата), либо чисто химическая (при различии в плотности между веществом плюма и окружающим массивом), либо совместно и тепловая, и химическая (при частичном плавлении окружающего вещества).

Характерным примером проявления мантийных плюмов, помимо Гавайских островов и Исландии, являются кимберлитовые поля.

Продолжительность активности современных и существующих в мезозое плюмов составляет от 15 до 90 млн. лет. Например, возраст кимберлитовых полей в Южной Африке, отражающих, вероятно, след движения Африканской плиты над двумя горячими точками, датируется 200-110 и 100-70 млн. лет. Во временном и пространственном расположении горячих точек в течение мезозоя наблюдаются определенные закономерности и аналогии с поведением солнечных пятен: горячие точки локализованы в средних широтах $40 \pm 15^\circ$ на Земле и $30 \pm 10^\circ$ на Солнце; новые горячие точки появляются в высоких широтах в обоих полушариях и мигрируют по направлению к экватору, после чего начинается новый цикл и сильно меняется магнитное поле. На Земле продолжительность такого цикла 90 или 180 млн. лет, на Солнце – 11 лет. Короткие периоды и более правильное распределение пятен на Солнце – не единственное отличие глубинной циркуляции на Земле и на Солнце, определяемое различием вещества газообразного Солнца и высоковязкой мантии Земли, хотя многие подобия просто поразительны. Возникновение солнечных пятен и их миграция к экватору во многом определяются силами Кориолиса, наибольшими в высоких широтах и исчезающими на экваторе. Если исходить из аналогии

с солнечными пятнами, то проявление сил Кориолиса возможно в относительно маловязком жидком ядре Земли. Это, в свою очередь, указывает на то, что областью возникновения горячих точек может быть граница ядро – мантия Земли.

По мнению Н.Л. Добрецова и А.Г. Кирдяшкина, вероятным важнейшим регулятором внутренних движений в Земле, во всяком случае, в течение последних 2 млрд. лет ее истории, становятся периодические мантийные плюмы, возникающие на границе ядро – нижняя мантия. Их отделение от ядра в процессе конвекции и накопление в слое *D* может рождать гравитационную неустойчивость, т.е. отрыв струй и капель малоплотного вещества, обогащенного флюидом. В любом случае мантийные плюмы, рожденные на границе ядро – мантия и, вероятно, обогащенные водородом, останавливаются или модифицируются на границе верхняя — нижняя мантия (около 670 км).

3. Асейсмичные хребты

Асейсмичный хребет (известный также как след плюма) представляет собой прямолинейную цепь вулканических островов, гайотов и (или) подводных поднятий. От островных дуг такие хребты отличаются тем, что не имеют дугообразной формы. Асейсмичные хребты образуются при движении плиты над плюмом. Плюм, расположенный внутри плиты (например, под островом Гавайи), порождает отходящий от него единственный асейсмичный хребет, примером которого является Гавайско-Императорская цепь подводных гор.

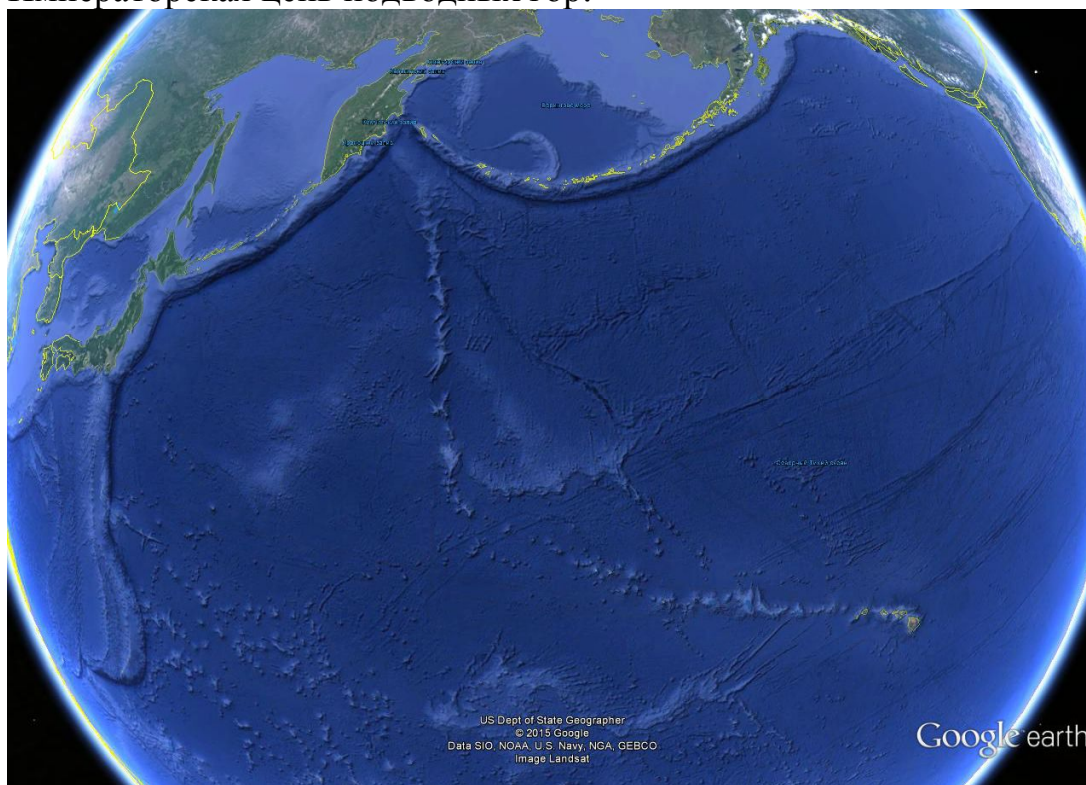


Рис. 3 .Гавйско-Имераторский асейсмичный хребет

Плюм, расположенный под срединно-океаническим хребтом, порождает два или три отходящих от него асейсмичных хребта. Хорошим примером такой ситуации служит Исландия. От нее отходят широкий асейсмичный хребет северо-западного простираения в сторону Гренландии и второй тоже широкий асейсмичный хребет юго-западного простираения в сторону Шетландских островов (к северо-востоку от Шотландии).

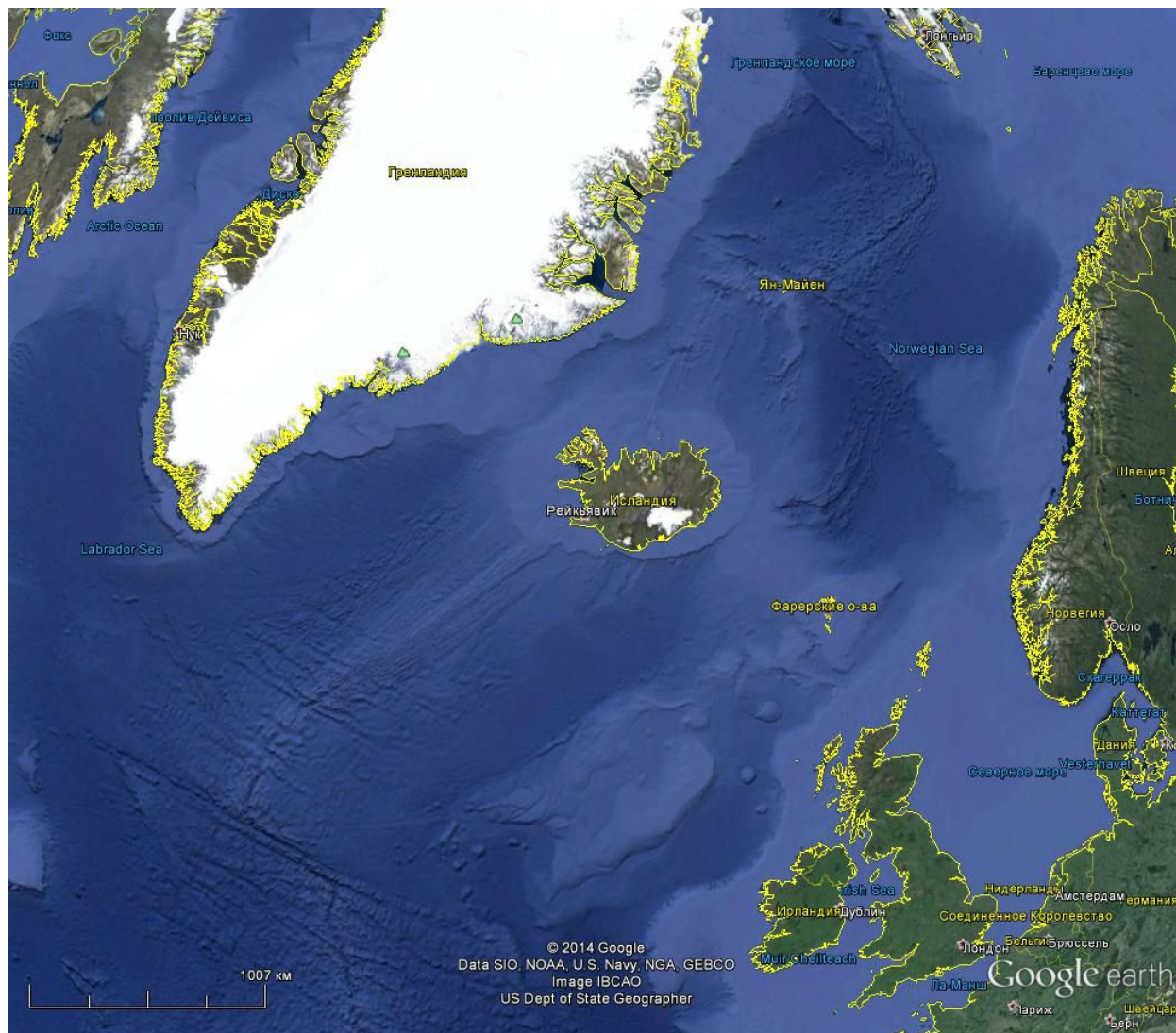


Рис. 4 Исландская горячая точка и ее морфология

4. Иерархия плюмов

Изучение простираний континентальных окраин (изобата 2000 м) в Атлантическом, Индийском и Северном Ледовитом океанах, Мексиканском заливе и Карибском море показало, что изменения их среднего направления можно разделить на сильные и слабые. Сильные изменения направлений в среднем составляют около 61° , и именно к ним приурочены плюмы первого порядка. Расстояние между плюмами первого порядка колеблется от 450 до 2200 км и в среднем составляет около 1700 км. Как правило, здесь располагаются хорошо развитые асейсмичные хребты, соединяющие современное положение плюма (обычно на срединно-Океаническом хребте) с

тем местом на континентальной окраине, где он зарождался. Многие, если не все, плюмы первого порядка на начальной стадии своего развития были связаны с авлакогенами, которые пересекают континентальную окраину в месте зарождения плюма.

Слабые изменения в ориентировке континентальной окраины составляют в среднем около 29° , и к ним приурочены плюмы второго порядка. Обычно между каждой парой плюмов первого порядка имеется два-три плюма второго порядка, расположенных в среднем на расстоянии 565 км друг от друга. Большинство плюмов второго порядка также имеют асейсмичные хребты (следы плюма), связывающие их современное положение (на срединно-океаническом хребте) с местом зарождения плюма на континентальной окраине. Однако они менее развиты, чем асейсмичные хребты плюмов первого порядка.

5. Периодичность проявления плюмов

Как указывалось выше, различают три возможных типа плюмов: пришедшие от границы ядро – мантия с глубины 2900 км, от границы верхняя – нижняя мантия с глубины 660 км и от границы субдуктируемой плиты в тыловой части зон субдукции с глубин 100-300 км. Эти плюмы имеют разные масштабы процесса, прежде всего длину и время своего подъема. Время подъема для нижне- и верхнемантийных тепловых плюмов 0,5-5 млн. лет. Столь малое время подъема, возможно, является предельным; при более сложных условиях плавления оно может быть и больше. Но именно малое время может объяснить кажущуюся неподвижность горячей точки и независимость движения плюмов относительно движущихся литосферных плит. Периодичность мантийных инверсий и геологических процессов, связанная с мантийными плюмами порядка 30 или 15 млн. лет, также свидетельствует в пользу короткого времени (менее 5 млн. лет) подъема мантийных плюмов. Независимый анализ проявления важнейших геологических событий за последние 250 млн. лет выявил главную периодичность в 26,6 млн. лет, что с учетом погрешности можно принять равной 30 млн. лет. Здесь важно отметить, что периодичность плюмов в 15-30 млн. лет возможна лишь при времени подъема, равном или меньше 5 млн. лет.

Связь интенсивности мантийных плюмов с инверсией магнитного поля, а также аналогия в возникновении и периодической миграции к экватору солнечных пятен и "горячих точек" Земли свидетельствуют в пользу зарождения большинства горячих точек на границе ядро — мантия,

Особенности плюмов

1. Плюмы располагаются в районах современного вулканизма или вблизи них.
2. Вулканические породы, образованные непосредственно над плюмом, представлены, как правило, толеитовыми базальтами. Для толеитов, образованных, например над плюмом в Исландии, характерно необычно низкое (47%) содержание SiO_2 и довольно высокое (0,4%) содержание K_2O .

3. Плюмы под срединно-океаническими хребтами дивергентных границ плит обычно приурочены к тем местам, где хребет существенно меняет направление своего простирания. Угол между двумя сегментами хребта, пересекающимися над плюмом, составляет $115-155^\circ$. Объясняется это тем, что разломы, развитые поверх плюмов, обычно пересекаются под этими углами, именно они, по-видимому, направляли развитие срединно-океанических хребтов.
4. Авлакогены пересекаются с плюмами во время их зарождения. Поэтому плюм может находиться под хребтом рядом с пересечением авлакогена и континентальной окраины.
5. Возраст вулканов асейсмичных хребтов (следов плюма) последовательно увеличивается по мере удаления от плюма. Такая закономерность хорошо прослеживается на вулканах Гавайско-Императорской цепи подводных гор.
6. Над плюмами часто регистрируются обширные гравитационные максимумы.
7. Океаническая кора над плюмами толще, чем в других областях. Например, мощность коры в центральной Исландии равна примерно 14 км, тогда как типичная для океанической коры мощность (если не считать осадков) составляет около 6 км.
8. Геотермические градиенты над плюмами выше, чем в других областях. В определенном смысле это является как следствием, так и причиной повышенной вулканической активности над плюмом. В Исландии температура в основании коры (на глубине 14 км) равна приблизительно 1000°C . Следовательно, средний геотермический градиент в этой области составляет $71^\circ\text{C}/\text{км}$, т.е. более чем вдвое превышает нормальную величину $30^\circ\text{C}/\text{км}$.
9. Плюмы часто находятся вблизи районов, где срединно-океанический хребет смещается крупными трансформными разломами.

В последние годы обнаружены новые удивительные корреляции глобальных геологических событий, которые позволяют сделать вывод, что первопричиной всех периодических эндогенных явлений, коррелирующих с глобальными изменениями климата и экологических условий на Земле, действительно, может быть пульсационное отделение от границы ядро – мантия порций мантийных плюмов. Наиболее известен меловой "мегахрон", когда в интервале 124-84 млн. лет не было вообще инверсий магнитного поля, чему соответствует общий максимум мантийного магматизма в это время; все это коррелируется и с меловым длительным периодом теплого климата на Земле.