

ЗЕМЛЯ КАК САМОРАЗВИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА (ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ТЕКТОНОМАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ)

Е.В. Шарков

ИГЕМ РАН, Москва, e-mail: sharkov@igem.ru

В интервале 2.3–2.0 млрд лет назад в эволюции Земли произошел перелом: высоко-Mg тип магматической активности сменился современным, а тип тектонической активности – плейт-тектоникой. Началась постепенная замена древней континентальной коры вторичной, океанического типа. Такая последовательность событий может быть объяснена тем, что: (1) Земля изначально была гетерогенной (т.е. образовалась в результате гетерогенной аккреции); (2) на первом этапе ее разогрев осуществлялся сверху вниз, от поверхности к ядру, сопровождаясь охлаждением верхних оболочек; (3) ~2 млрд лет назад происходит общее охлаждение планеты, сопровождающееся подъемом мантийных суперплюмов второго поколения (термохимических, современного типа). Показано, что Земля является независимой саморазвивающейся системой. Все другие земные планеты (Венера, Марс, Меркурий и Луна), имеющие сходное строение, развивались по сходному сценарию.

Земля за 4.5–4.6 млрд лет существования прошла несколько стадий в своем развитии, в результате чего она необратимо изменилась и продолжает меняться в настоящее время.

Проблема первичной земной коры. С точки зрения петрологии и физической химии эта кора могла быть как базитовой, так и сиалической, поскольку обе модели требуют глобального плавления исходного хондритового вещества для образования однородной первичной коры. Из-за разницы в величинах адиабатического градиента и градиента температуры точки плавления затвердевание магматического «океана» происходило снизу вверх, приводя к накоплению легкоплавких компонентов в верхней оболочке (будущей первичной коре). Геологические, геохимические и изотопные данные, в том числе о резком преобладании в архейской земной коре гранитоидов тоналит-трондьемит-гранодиоритового (ТТГ) состава, свидетельствуют в пользу первично-сиалической коры. С формированием такой коры, очевидно, связано и первичное повсеместное истощение вещества верхней мантии.

Тектономагматические процессы в раннем докембрии. Главными тектоническими структурами архея являлись гранит-зеленокаменные области (ГЗО) и разделяющие их гранулитовые пояса умеренных давлений. Эти пояса представляли собой проторифтовые

структуры, выполненные высоко-Mg вулканитами коматиит-базальтовой и бонинитоподобной серии и происшедшие из деплетированной мантии. ГЗО являлись областями растяжения, воздымания и сноса, а гранулитовые пояса – областями преобладающего сжатия, погружения и осадконакопления – древнейшими осадочными бассейнами. Ситуация в целом резко отличалась от современной плейт-тектоники.

К протерозою земная кора стала жесткой, о чем свидетельствует появление собственно рифтогенных структур, вулканических плато, огромных роев даек и крупных расслоенных интрузивов. Преобладающим типом магматизма в раннем палеопротерозое были образования кремнеземистой высоко-Mg серии (КВМС). По своим геохимическим характеристикам они близки к надсубдукционным магмам, однако формировали внутриконтинентальные крупные изверженные провинции. Появление таких провинций предполагает существование под ними мантийных суперплюмов первого поколения, сложенных деплетированным ультрамафическим материалом. Растекание их головных частей происходило на глубинах 200–450 км, не вызывая разрывов древней литосферы. Ситуация может быть описана в терминах плюм-тектоники.

Кардинальная смена тектономагматических процессов. Интервал 2.3–2.0 млрд лет назад на всех докембрийских щитах характеризовался массовым появлением Fe–Ti-пикритов и базальтов, аналогичных фанерозойским внутриплитным магмам; с этого времени они становятся главным типом магматизма. В отличие от предыдущих высоко-Mg расплавов, они образовались за счет геохимически-обогащенных мантийных субстратов. Драматическая смена геологических процессов произошла около 2 млрд лет назад, когда появились плейт-тектоника и первые орогены фанерозойского типа. С того времени началось систематическое уничтожение древней континентальной сиалической коры в новообразованных системах вулканическая дуга–задуговое море, где эта кора вовлекалась в зоны субдукции и затем «складировалась» в «кладбищах слэбов», устанавливаемых сейсмической томографией в толще мантии. Это привело к постепенному замещению первично-сиалической (континентальной) коры вторичной мафитовой (океанической) корой.

Мы связываем эти изменения с подъемом мантийных суперплюмов второй генерации (термохимических), которые и сейчас генерируются на границе жидкого существенно железного ядра и мантии. Поскольку суперплюмы постоянно отводят тепло от жидкого ядра, оно должно постепенно затвердевать с образованием внутреннего (твердого) ядра.

При этом высвобождается большое количество растворенных в расплаве флюидов, что и инициирует подъем термохимических плюмов, которые достигают более умеренных глубин. Растекание их головных частей уже приводит к активному взаимодействию с верхней частью древней литосферы, включая земную кору: к разрывам последней, формированию зон океанического спрединга, возникновению и перемещению плит, процессам субдукции и т.д., т.е. к появлению плейт-тектоники.

Причины эволюции Земли. Таким образом, спустя примерно 2.5 млрд лет после образования Земли в тектономагматические процессы стало вовлекаться новое, геохимически-обогащенное вещество. Где оно могло храниться и каким образом было активировано? Такая последовательность событий могла возникнуть только при комбинации трех факторов: (1) Земля изначально была гетерогенной, т.е. образовалась в результате гетерогенной аккреции; (2) ее разогрев осуществлялся сверху вниз, от поверхности к ядру, сопровождаясь охлаждением верхних оболочек; (3) с ~2 млрд лет назад происходит общее охлаждение планеты, сопровождающееся подъемом мантийных суперплюмов современного типа.

Наиболее вероятной причиной центростремительного разогрева Земли была, по-видимому, зона (волна) теплогенерирующих деформаций, которая, согласно экспериментальным данным, возникает при ускорении вращения тел. Такая волна появилась после завершения аккреции Земли в результате постепенного уплотнения ее материала и соответствующего сокращения радиуса, что, согласно закону сохранения момента движения, должно было вызвать ускорение ее вращения вокруг своей оси. Эта волна вначале проходила через деплетированную мантию, генерируя суперплюмы первого поколения. Железного ядра, близкого по составу к Fe-S эвтектике, она достигла в последнюю очередь, приведя к его плавлению и генерации термохимических суперплюмов, которые на Земле существуют и поныне, определяя практически всю тектономагматическую активность Земли.

Таким образом, Земля представляет собой независимую саморазвивающуюся систему. По сходному сценарию эволюционировали и другие земные планеты (Венера, Марс, Меркурий и Луна), имеющие сходное строение, но к настоящему времени закончившие свое развитие; сейчас они являются «мертвыми» телами.