

МАГМАТИЗМ, ТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА ЗЕМЛИ (СВЯЗЬ ВО ВРЕМЕНИ И В ПРОСТРАНСТВЕ)

Шарков Е.В., Богатиков О.А.

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Москва, sharkov@igem.ru*

Как далеко в историю нашей планеты может быть пролонгирован современный тип тектономагматической активности? Одни исследователи полагают, что характер тектономагматических процессов практически не менялся начиная с эоархея и может быть описан в терминах современной плейт-тектоники. Другие специалисты настаивают на специфике развития Земли в раннем докембрии, и полагают, что наблюдаемый в настоящее время тип тектономагматической активности может быть экстраполирован во времени не далее, чем до 2 млрд. лет назад, и что принцип актуализма, широко используемый в геологической практике, имеет свои ограничения.

Проблема первичной земной коры. Согласно современным моделям, эта кора могла быть как базитовой, так и сиалической. С точки зрения петрологии и физической химии, принципиальных различий между ними нет, поскольку обе модели требуют глобального расплавления исходного хондритового вещества, чтобы образовать однородную первичную земную кору. Из-за разницы в величинах адиабатического градиента и градиента температуры точки плавления, затвердевание магматического «океана» глубиной в несколько сотен километров, должно было происходить снизу вверх, приводя к накоплению легкоплавких компонентов в верхней оболочке (будущей земной коре). Геологические, геохимические и изотопные данные (резкое преобладание гранитоидов в архейской земной коре, находки древнейших детритовых цирконов с возрастом 4.4-4.2 млрд. лет с $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ отношениями, весьма близкими к доминирующим в архее плагиогранитам тоналит-грондъемит-гранодиоритового (ТТГ) состава, свидетельствуют в пользу первично-сиалической земной коры и делают их наиболее вероятными претендентами на эту роль. С формированием такой первичной коры, очевидно, связано и первичное же повсеместное истощение вещества верхней мантии.

Тектономагматические процессы в архее и раннем палеопротерозое. Главными тектоническими структурами архея являлись гранит-зеленокаменные области (ГЗО) и разделяющие их гранулитовые пояса умеренных давлений. ГЗО с неправильной сетью зеленокаменных поясов в ТТГ-матрице (переработанной первично-сиалической коре). Эти пояса представляли собой проторифтовые структуры, выполненные высоко-Mg вулканитами коматиит-базальтовой и бонинитоподобной серии. ГЗО являлись областями растяжения, воздымания и сноса, а гранулитовые пояса – преобладающего сжатия, погружения и осадконакопления, древнейшими осадочными бассейнами. Между ними развивались промежуточные зоны тектонического течения. К протерозою земная кора стала жесткой, о чем свидетельствует появление собственно рифтогенных структур, огромных роев даек и крупных расслоенных интрузивов. Характер же тектонической активности в раннем палеопротерозое изменился мало: место ГЗО заняли кратоны, разделенные гранулитовыми поясами. Преобладающим типом магматизма тогда были образования кремнеземистой высоко-Mg серии (КВМС), формировавшие крупные изверженные провинции. Происхождение мантийно-коровых расплавов КВМС связывается с «всплыванием» очагов высокотемпературных ультрамафических магм сквозь кору по принципу зонной плавки, т.е. путем проплавления кровли и кристаллизации у дна. Появление подобных крупных изверженных провинций предполагает существование под ними мантийных суперплюмов первого поколения, сложенных деплетированным ультрамафитовым материалом. Растекание их головных частей происходило на больших глубинах, не вызывая разрывов древней литосферы. Ситуация может быть описана в терминах плюм-тектоники.

Кардинальная смена тектономагматических процессов. Интервал 2.35-2.0 млрд. лет на всех докембрийских щитах характеризовался массовым появлением Fe-Ti пикритов и базальтов, аналогичных фанерозойским внутриплитным магмам. В отличие от предыдущих высоко-Mg расплавов, они произошли из геохимически-обогащенных мантийных субстратов. В начале характер тектоники не изменился: молодые лавовые потоки наращивали разрезы в тех же са-

рых рифтогенных структурах, формировались рои даек и крупные расслоенные интрузивы, но уже титаносные. Драматическая смена геологических процессов произошла только около 2 млрд. лет, 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.

Таким образом, в интервале 2.3-2.0 млрд. лет назад состав мантийных расплавов и геодинамические процессы испытали быстрое изменение практически одновременно в масштабе всей Земли. Мы связываем эти изменения с подъемом мантийных суперплюмов второй генерации (термохимических), которые и сейчас генерируются на границе жидкого железоникелевого ядра и мантии, обеспечивая современную тектономагматическую активность Земли. Поскольку суперплюмы постоянно отводят тепло от жидкого ядра, оно должно постепенно затвердевать с образованием внутреннего ядра. При этом высвобождается большое количество растворенных в расплаве флюидов, что и инициирует подъем термохимических плюмов, вещество которых имело меньшую плотность по сравнению с плюмами первой генерации и достигало более умеренных глубин. Растекание их головных частей уже приводило к активному взаимодействию с верхней частью древней литосферы, к ее разрывам, формированию зон океанического спрединга, возникновению и перемещению плит, процессам субдукции и т.д., т.е. к появлению плейт-тектоники.

Причины эволюции Земли. Из приведенных данных следует, что спустя ~2.5 млрд. лет после образования Земли в тектономагматические процессы стало вовлекаться новое, геохимически-обогащенное вещество, ранее практически в них не участвовавшее, что в конечном счете и привело к появлению плейт-тектоники, действующей и поныне. Где могло храниться это вещество и каким образом оно было активировано? Установленная последовательность событий могла возникнуть только при комбинации двух независимых факторов: (1) Земля изначально была гетерогенной, т.е. произошла в результате гетерогенной аккреции и (2) ее разогрев происходил сверху вниз, от поверхности к ядру, сопровождаясь охлаждением внешних оболочек. 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 эвтектике Fe-FeS, она достигла в последнюю очередь, приводя к его плавлению и генерации термохимических суперплюмов, которые на Земле существуют и поныне. Именно они определяют практически всю тектономагматическую активность Земли, являясь главными движителями тектонических процессов. Из этого следует, что жидкое существенно железное ядро сейчас является энергетическим «сердцем» нашей планеты. После его затвердевания тектономагматические процессы прекратятся, как это уже имеет место на Луне, Венере, Марсе и Меркурии, развивавшимися по такому же сценарию, но в настоящее время представляющие собой уже «мертвые» тела.