

ВНУТРИПЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ И СВЯЗАННАЯ С НИМ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Кузьмин¹ М.И., Ярмолюк² В.В.

¹*Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН, г. Иркутск,
e-mail: mikuzmin@igc.irk.ru;*

²*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
г. Москва, e-mail: yarm@igem.ru.*

1. В XX и XXI веке было познано более точно внутреннее строение Земли, хотя эти знания получить часто труднее, чем данные о далеких планетах Солнечной системы. Например, планета Плутон, расположенная в 6 млрд. км. от Солнца была открыта в 30-тые годы прошлого столетия, и только в 1936 году было установлено с помощью сейсмоки внутреннее ядро Земли. Основной минерал нижней мантии – перовскит ($MgSiO_3$) синтетически был получен в 1974 году при давлении 30 гектопаскалей (ГПа). До начала XXI века подавляющее число специалистов считали, что этот минерал располагается до основания мантии, не подвергаясь другим фазовым превращениям. В 60-х годах были открыты новые сейсмические неоднородности на глубине 2.670 км и расположенный здесь 300 км слой D". В 1983 году установлено, что слой D" прерывист, что связывалось с различным содержанием элементов, а не с границей фазовых переходов. Это предположение было сделано благодаря «идеальной» кристаллической структуре перовскита, имеющего плотнейшую упаковку.

Развитие сейсмотомографии в начале 80-х годов позволило установить существование в мантии низкоскоростных (горячих) и высокоскоростных (холодных) областей, прослеживающихся от подошвы литосферы до самого ядра [Dziwonski, 1984; Fukao et al., 1994, Maquyama, 1994]. Обнаружены две большие низкоскоростные провинции: одна расположена над Африкой и окружающими ее территориями, другая над Тихим океаном. Они совпадают с выделенными нами ранее горячими полями мантии [Зоненшайн, Кузьмин, 1983]. Эти большие низкоскоростные мантийные области называются Африканской и Тихоокеанской LLSVP (Large Low Spear Velocity Province) провинциями, или суперплюмами, с ними связаны проявления вулканизма горячих точек на поверхности Земли [Courtillot, Renne, 2003].

С помощью сейсмической томографии установлено, что субдуцированные плиты после первой стагнации в переходной зоне на границе верхней-нижней мантии (400-600 км) частично могут опускаться до границы ядро-мантия, т.е. до слоя D" [Zhao, 2001, 2007, Fukao et al., 2009]. Это позволило полагать, что мантийные плюмы могут зарождаться на границе верхней и нижней мантии, а также на границе ядро-мантия в слое D", т.е. имеется два уровня зарождения плюмов.

Наконец, в 2002 году в эксперименте был определен переход перовскита в новую, более плотную, модификацию, которую в 2003 году назвали постперовскитом, она имеет плотность на 1-1.5% выше, чем у перовскита [Хиросе, 2010]. Постперовскит увеличивает поток тепла через мантию на 20% и способствует зарождению и развитию плюмов в слое D". Важно, что еще в 50-х годах прошлого столетия было установлено, что внешнее, жидкое ядро на 10% менее плотное, чем чистый сплав железа с никелем. Это позволяет полагать, что в нем присутствуют более легкие элементы, например, сера, кремний, кислород, углерод, водород. Поступление их в слой D" увеличивает возможность возникновения здесь плюмов.

2. Наиболее убедительным аргументом связи тектоники плит и тектоники плюмов является взаимосвязь процессов образования суперконтинентов и суперплюмов в единых суперконтинентальных циклах [Li, Zhong, 2009]. В данном случае увязаны как поверхностные, так и глубинные процессы Земли, т.е. эту концепцию можно называть глубинной геодинамикой. В настоящее время с различной степенью вероятности установлены четыре суперконтинента: Кенорленд, Колумбия, Родиния, Пангея. В отличие от цикла Вильсона (300 млн лет) суперконтинентальный цикл охватывает 600-700 млн лет.

Следы формирования и распада суперконтинентов можно находить в областях выхода древних докембрийских пород. Однако, геологическое выражение формирования древних суперконтинентов и их распад находить сложно, так как последующие процессы «стирают» эти следы. Для их расшифровки необходимы детальные геохронологические исследования. Нами сделаны попытки расшифровки древней истории развития юго-западной окраины Сибири в нашем совместном докладе с Г.Я. Абрамовичем.

3. В настоящее время наиболее полно изучено формирование и раскол двух последних суперконтинентов: Родинии и Пангеи [Torsvik, Cocks, 2004; Li, Zhong, 2009].

После распада Родинии составляющие его континенты, в том числе и Сибирь, переместились в позднерифейский океан. Многочисленные проявления продуктов магматизма океанических горячих точек в складчатом обрамлении Сибирского кратона и внутриплитных магматических образований в его пределах [Ярмолюк и др., 2000] указывают на высокую внутриплитную активность в том секторе Земли, через который в фанерозое перемещался Сибирский континент. Очевидно, его миграция происходила над областью концентрации мантийных плюмов. В соответствии с палеомагнитными данными выполнены палеореконструкции Сибирского континента в фанерозое [Kuzmin et al., 2010]. В их основу было положено представление о формировании Сибирской трапповой провинции 250 млн лет тому назад над Исландским плюмом [Lawver, Muller, 1994; Харин, 2000], фиксирующим северный край Африканской LLSVP. Это позволило наметить долготные координаты (330° - 70° в.д. – границы Африканской LLSVP), ограничивающие область возможных широтных миграций Сибири. В соответствии с ними показано, что Сибирь, начиная с 570 млн лет вплоть до юры, дрейфовала над Африканским суперплюмом, а, позднее переместилась к востоку и попала под влияние Тихоокеанского суперплюма.

4. Наиболее ярко выраженную связь с плюмовым магматизмом демонстрируют Ni-PGE месторождения, ассоциирующие с мафит-ультрамафитовыми интрузиями, в том числе в составе трапповых областей. Такими, например, являются рудоносные габбро-долеритовые интрузии Сибирской платформы [Спиридонов, 2010], которые, несмотря на то, что составляют лишь малую долю (<0.01 %) объема траппов, содержат около $\frac{1}{4}$ мировых запасов Ni и Pd. Предполагается, что древняя архейская литосфера, которая может взаимодействовать с плюмовыми расплавами, является наиболее благоприятным фактором формирования Ni-PGE минерализации [Zhang et al., 2008]. Именно такие условия могут реализоваться в Сибирской рудоносной провинции.

В Восточном Саяне рудоносный (Cu-Ni-PGE) комплекс базит-ультрабазитовых интрузий выделяется в пределах архейского Алхадырского террейна, вытянутого вдоль края Сибирской платформы. Возраст массивов составляет 630-650 млн лет и соответствует возрасту ультраосновных щелочных комплексов с редкометалльными карбонатитами, которые также прослеживаются вдоль края Сибирской платформы. Проявления внутриплитного магматизма этого возраста связываются с суперплюмом, расколовшим Родинию [Ярмолюк и др., 2005].

Еще один комплекс небольших мафит-ультрамафитовых интрузий с сульфидной медно-никелевой с платиной минерализацией выделяется на юго-востоке Алданского щита [Гурьянов и др. 2009; Симонов и др. 2009]. Возраст этих интрузий составляет ~ 1700 млн лет, а краевая позиция в пределах щита предполагает их связь с расколами, возникшими под влиянием суперплюма при распаде суперконтинента Колумбия или Кенорленд.

Можно полагать, что во всех перечисленных случаях местом зарождения суперплюмов служил слой D'', расположенный на границе ядро-мантия, а в составе источников плюмового магматизма должна была присутствовать мантия EM-I, которая считается типичной для плюмов, несущих Ni-PGE минерализацию [Zhang et al., 2008] и карбонатиты. Наиболее четко связь Cu-Ni (Pt) месторождений карбонатитов с редкометалльными месторождениями видна на реконструкциях раскола Родинии, в которых по бортам расколовшего суперконтинент рифта расположены выше отмеченные месторождения [Кузьмин и др., 2011].

5. Плюмы часто являются причиной появления крупных изверженных провинций (LIP), а также специфичных рудоносных магматических пород с благороднометалльной (ультрамафит-мафитовые комплексы) и редкометалльной (ультращелочные комплексы, щелочные и литий-фтористые граниты и др.) минерализацией. Под воздействием плюмов образуются также крупные изверженные провинции гранитоидного состава, с которыми связаны многочисленные месторождения. На Азиатском континенте – это раннепалеозойские батолиты «пестрого состава» Алтае-Саянской области и Западной Монголии, позднепалеозойские гранитоиды калбинского комплекса, Ангаро-Витимский, Хангайский и Хентейский батолиты, сформированные при участии вещества мантийных плюмов [Kuzmin et al., 2010]. С такими внутриплитными гранитоидными проявлениями магматизма, помимо редкометалльных, часто сопряжены полиметаллические и золоторудные месторождения. Отмеченные магматические, в первую очередь вулканические, образования на спейдер-диаграммах Ta-Nb минимум, свидетельствующий о том, что мантийные магмы, ответственные за эти породы образовались в условиях присутствия воды. Предполагается также, что перечисленные выше месторождения связаны с плюмами, зарождающимися на границе верхняя-нижняя мантия. Подробно сведения о рудной минерализации позднепалеозойского и мезозойского возраста будут рассмотрены в докладе В.В. Ярмолюка.

Литература

Гурьянов В.А., Приходько В.С., Пересторонин А.Н., Петухова Л.А., Потоцкий Ю.П., Соболев Л.П. Новый тип медно-никелевых месторождений юго-востока Алдано-Станового щита // Доклады Академии наук. 2009. Т. 425. № 4. С. 505-508.

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

Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Кравчинский В.А. Фанерозойский внутриплитный магматизм Северной Азии: абсолютные палеогеографические реконструкции африканской низкоскоростной мантийной провинцией. // Геотектоника. 2011. Т. 45. № 6. С. 3-23.

Симонов В., Приходько В.С., Ковязин С.В., Тарновский А.В. Условия формирования кондерского платиноносного ультраосновного массива (Алданский щит) // Доклады Академии наук. 2009. Т.434. № 1. С. 108-111.

Спиридонов Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. 2010. Т.51. № 9. С. 1356-1378.

Харин Г.С. Импульсы магматизма Исландского плюма // Петрология. 2000. Т.8. № 2. С. 115-130.

Хироме К. Новое о составе земли // В мире науки. 2010. № 8/9. С. 72-81.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Кузьмин М.И. Северо-Азиатский суперплюм в фанерозое: магматизм и глубинная геодинамика // Геотектоника. 2000. № 5. С. 343-366.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Сальникова Е.Б., Никифоров А.В., Котов А.Б., Владыкин Н.В. Позднерифейский рифтогенез и распад Лавразии: данные геохронологических исследований щелочно-ультраосновных комплексов южного обрамления Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 2005. Т.404. №3. С. 400-406.

Courtillot V.E., Renne P.R. On the ages of flood basalt events. *Comptes Rendus. // Geosciences*. 2003. V. 335 (1). P. 113-140.

Dziewonski A.M. Mapping the lower mantle, determination of lateral heterogeneity up to degree and order 6 // *Journal of Geophysical Research*. 1984. V. 89. P. 5929-5952.

Fukao Y., Maruyama, S., Obayashi, M., Inoue, H. Geological implication of the whole mantle P-wave tomography // *The Journal of the Geological Society of Japan*. 1994. V. 100. P. 4-23.

Fukao Y., Obayashi M., Nakakuki T., the Deep Slab Project Group. Stagnant Slab: A Review // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2009. V. 37. P.19-46.

Kuzmin M. I., Yarmolyuk V. V., Kravchinsky V. A. [Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province](#) // Earth-Science Reviews. 2010. V. 102. № 1-2. P. 29-59.

Lawver L.A., Muller R.D. Iceland hotspot track // Geology. 1994. V. 22 (4). P. 311-314.

Li Z.X., Zhong S. Supercontinent–superplume coupling, true polar wander and plume mobility: plate dominance in whole-mantle tectonics // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2009. V. 176. P.143-156.

Maruyama S. Plume tectonics // Journal of Geological Society of Japan. 1994. V.100 (1). P. 24-49.

Torsvik T.H., Cocks L.R.M. Earth geography from 400 to 250 Ma: a palaeomagnetic, faunal and facies review // Journal of the Geological Society. 2004. V. 161. P. 555-572.

Zhang M., Reilly S.Y., Wang K.-L., Hronsky J., Griffin W.L. Flood basalts and metallogeny: The lithospheric mantle connection // Earth-Science Reviews. 2008. V. 86. P. 145-174.

Zhao D. Seismic structure and origin of hotspots and mantle plumes // Earth and Planetary Science Letters. 2001. V.192. P. 251-265.

Zhao D. Seismic images under 60 hotspots: Search for mantle plumes // Gondwana Research. 2007. V. 12. P. 335-355.