ПРОЯВЛЕНИЯ ГЛУБИННОЙ ФЛЮИДО-МАГМАТИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ В ХАРАКТЕРЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ И В ДАННЫХ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СРЕДНЕЙ МАНТИИ: ГЛУБИННЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АКТИВНОГО РУДОГЕНЕЗА

М.В.Родкин*, В.Ю.Семенов**

** Геофизический центр РАН, Москва, 119296, Молодежная 3, m.rodkin@gcras.ru*

*** Институт геофизики Польской АН, Варшава, sem@igf.edu.pl*

Известно, что образование крупных месторождений полезных ископаемых, как рудных, так и углеводородных, связано с особо интенсивными процессами флюидо-магматической и флюидной активизации. Порождающая месторождения флюидо-магматическая система часто трактуется при этом как динамическая система, на вход которой подаются глубинные массо- и энергопотоки, а под выходом имеют в виду формирование месторождений с аномально высокой концентрацией полезных компонентов. Возникает вопрос, с какими мантийными процессами связана флюидо-магматической активизация, в каких особенностях физических полей такая активизация находит отражение, и какие особенности этих процессов приводят к резкой пространственной неоднородности распределения минеральных ресурсов, в частности к образованию крупных и суперкрупных месторождений.

Наиболее хорошо изучено отражение процессов флюидо-магматической активизации в сейсмических характеристиках коры и мантии Земли. Так, по данным сейсмотомографических исследований, в тыловых частях зон субдукции наблюдается развитие широких поясов пониженных значений скоростей распространения сейсмических волн в верхней мантии. Подобные же, но не линейные, а изометричные в плане, аномалии выявляются в верхней мантии под активными горячими точками. Такие особенности сейсмического строения связываются с развитием в мантии восходящих флюидо-магматических потоков. К тыловым поясам зон субдукции и к горячим точкам приурочено значительное число месторождений рудного сырья. Естественно предположить, что взаимодействие интенсивных флюидо-магматических потоков с веществом мантии и коры Земли, и процессы их разгрузки в области низких температур и порождают совокупность процессов глубинного рудогенеза. Для более полного представления о процессах рудогенеза полезно использовать также данные о характере проявления флюидо-магматической активизации и в других геофизических полях. Ниже обсуждаются в этой связи некоторые особенности гравитационного поля и новые данные по пространственной изменчивости величин электропроводности в верхней и средней мантии. В основном рассматриваются аномалии, связанные с тыловыми частями зон субдукции.

В качестве геофизических данных, не использовавшихся ранее в связи с проблемой оценки масштабов регионального рудогенеза, но предположительно связанных с процессами флюидо-магматической активизации, рассмотрим новые данные по характеру электропроводности мантии Земли. В результате исследований нескольких последних десятилетий был достигнут определенный прогресс в исследованиях по глубинной электропроводности Земли (Roberts, 1986; Schultz, Larsen, 1990; Ваньян, 1997; Semenov, Jozwiak, 2006; и др.). Проведенные исследования электропроводности не только подтвердили ряд ранее известных выводов, в частности, существование зоны повышенной проводимости в кровле верхней мантии, так называемой астеносферы, но и выявили ряд важных неизвестных ранее особенностей строения мантии Земли. Так весьма важным новым результатом представляется выявление слоя низких сопротивлений в области границы верхней и нижней мантии, в интервале глубин, примерно, от 700 до 1000 км (Semenov, Jozwiak, 1999). Обсудим возможную природу этой аномалии. Легко видеть, что глубины выявленного аномального слоя отвечают ожидаемому положению области накопления больших объемов субдуцированных масс, перед их погружением в нижнюю мантию или перед их подплавлением, формированием на их основе плюмов и/или смешением с окружающими объемами мантии. Наличие в указанном глубинном интервале остатков погружающихся литосферных плит надежно подкрепляется сейсмическими исследованиями.

Как известно по сейсмотомографическим данным, в отмеченном интервале глубин часто выявляется выполаживание погружающихся литосферных плит. При этом соответствующая низкоскоростные сейсмические аномалии могут простираться на весьма значительные расстояния от современных зон субдукции. С постепенном разогревом и последующим подплавлением этих субдуцированных масс связывается в (Kesson, Ringwood, 1978; Когарко, 2004; и др.) образование щелочных, в частности кимберлитовых, расплавов. В качестве рабочей гипотезы можно предположить, что упомянутая выше аномалия электропроводности связана с наличием таких подплавленных масс в области границы верхней и нижней мантии. Такой подплавленный слой различной мощности может иметь весьма широкое, почти планетарное, распространение, как это было получено по магнитовариационным данным, выявившим наличие практически глобального слоя высокой электропроводности в кровле нижней мантии (рис.1).

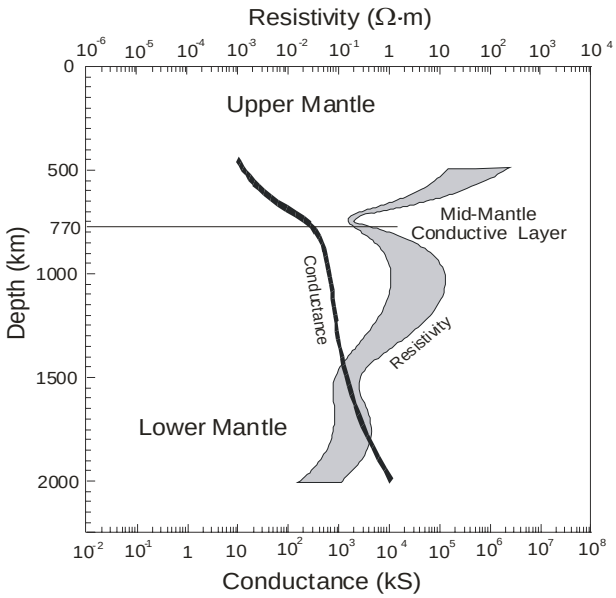

Рис.1. Разрез геоэлектрического строения мантии для Евро-Азиатского региона (Semenov & Jozwiak, 1999).

Пример изменения суммарной электропроводности средней мантии для наиболее изученного, но при этом достаточно однородного и слабо контрастного в этом плане региона Европы дан на рисунке. Видны как систематический характер изменения этой характеристики по площади региона, так и определенная коррелированность в изменениях величины суммарной электропроводности верхней мантии с тектоникой региона, в частности с положением линии раздела Тессейра-Торнквиста.

Предложенная интерпретация природы высокопроводящего слоя на границе верхней и нижней мантии находит косвенную поддержку в данных по характеру гравитационного поля. Так, в этом же интервале глубин, по результатам анализа гравитационного поля, часто выявляется область инверсии аномалий плотности, когда выше и ниже интервала глубин 700-900 км отклонения плотности пород от средних значений плотности в мантии Земли имеют разный знак (Martinec & Pec, 1989). Предварительно намечается и определенная связь строения мантии по магнитовариационным и гравитационным данным. Для сопоставления с характером гравитационного поля нами использовались результаты глубинных зондирований электрического строения литосферы, представленные в работах (Roberts, 1986; Schultz and Larsen, 1990). Преимуществом этих данных является то, что в них представлены данные по обсерваториям, расположенным в различных тектонических условиях (континенты, переходные зоны, океаны). Недостатком является использование не вполне методологически совершенных подходов к обработке данных (отметим при этом, что за последующее после их опубликование время появились уточняющие подходы к расчетам значений глубинной

электропроводности, но не новые результаты зондирований, со столь же широким географическим охватом территории Земли).

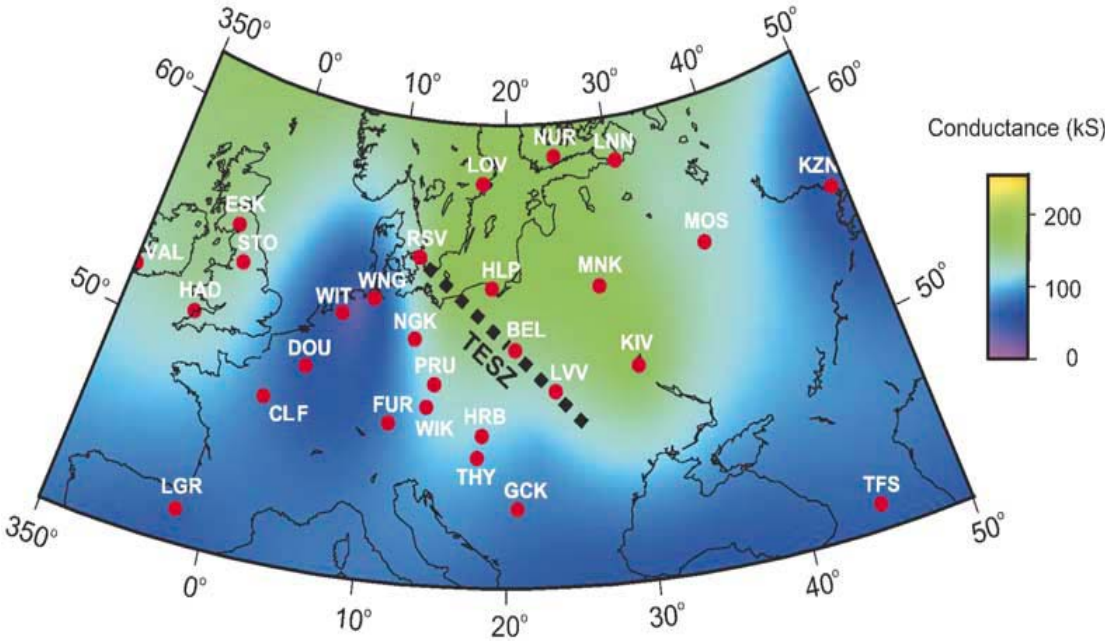

Рис.2. Усредненное распределение величин суммарной электропроводности верхней мантии (выше 770 км) для европейского региона, по (Semenov, Jozwiak, 2006). Жирным пунктиром дано положение линии, разграничивающей древнюю восточно-европейскую платформу от более молодой (протерозойской) западноевропейской в Центральной и Северной Европе. Красными точками дано положений обсерваторий, по данным которых проводилось зондирование.

Данные работ (Roberts, 1986; Schultz and Larsen, 1990) получены в результате применения различных методологических подходов и, потому, не вполне однородны и трудно сопоставимы. В качестве характеристики, предположительно позволяющей использовать эти данные совместно, использована величина суммарной электропроводности мантии до глубин электропроводящего слоя на границе верхней и нижней мантии включительно. Рассчитывалась корреляция между этими (оценочными) суммарными значениями электропроводности и величинами высот геоида в диапазоне разложения поля высот геоида по сферическим гармоникам в диапазоне частот от F1 до F2. Теоретически следует ожидать, что именно некоторый промежуточный интервал разложения геоида отвечает характеру распределения плотности мантии в области границы верхней и нижней мантии. В результате расчетов выявилось наличие слабой положительной корреляции (на уровне значимости 10%) между значениями суммарной электропроводности средней и верхней мантии и величинами высот геоида в диапазоне разложения геоида по сферическим функциям от (примерно) 10 до 80 гармоники; при этом связь статистически более значима в области низких частот разложения от 10 до (примерно) 20 гармоники, что соответствует правдоподобному в нашем случае характерному размеру аномалий на поверхности Земли 1000-2000 км. При этом положительный знак корреляции указывает, что аномалии электропроводности связаны с более плотными массами, что также отвечает предположению о связи аномалии с субдуцированными литосферными плитами.

Свойства аномального слоя в интервале глубин 700-1000 км могут представлять значительный интерес в плане металлогении, как потенциальный источник обогащенных щелочных расплавов – исходного источника вещества для формирования большинства типов рудных месторождений. Такой гипотетический источник носит комплексный минералогенический характер, что хорошо соответствует данным по минералогении. При этом конкретная минерализации может видоизменяться в связи с конкретным приповерхностными условиями: температурой, вариациями состава и щелочности флюида, другими параметрами. Выявляются

также предпосылки для объяснения процессов формирования крупных и суперкрупных комплексно-минеральных месторождений. Действительно, в отдельных областях границы верхней и нижней мантии, когда встречаются потоки субдуцированного вещества из соседних, но разноориентированных сегментов зон субдукции можно ожидать локального накопления особенно больших объемов субдуцированных масс. Другой вполне ожидаемый механизм порождения сильной пространственной неоднородности в расположении месторождений связан с формированием плюмов. Следует ожидать, что начавшийся развиваться плюм будет затягивать подплавленные массы из соседних областей, тем самым препятствуя возникновению соседних восходящих рудогенерирующих потоков. Результатом такой конкуренции за материал между плюмами может оказаться формирование совокупности плюмов с величинами объемов, распределенными примерно по степенному закону, что предположительно будет порождать, аналогичное степенное (крайне неравномерное) распределение запасов соответствующих порождаемых плюмами месторождений минерального сырья.

Предложенная схема позволяет сформулировать ряд вероятных следствий, могущих оказаться полезными, если не в плане прогнозной оценки региональной рудоносности территорий, то для проверки правдоподобности самой предлагаемой схемы. В рамках схемы представляется вероятным, что области развития месторождений минерального сырья, формирующиеся на основе глубинного щелочного магматизма из переходной зоны верхняя-нижняя мантия и наследующие области тыловых бассейнов зон субдукции, будут иметь очагово-вытянутую протяженную форму. При этом очаговость отвечает формированию месторождений на основе плюмов, поднимающихся от границы верхней и нижней мантии, а протяженность зоны – общей унаследованностью области от тыловых поясов зон субдукции. Такая региональная пространственная вытянутость области развития месторождений (отвечающая положению тыловых поясов зон субдукции) хорошо соответствует, например, данным по рудоносности Северной Америки. В рамках предложенной схемы можно сформулировать также некоторые предположения о характере расположения суперкрупных месторождений. Исходя из сделанных выше предположений, можно ожидать, что области развития особо крупных и гигантский месторождений будут более характерны для областей изменения простирания поясов развития месторождений со средним размеров запасов минерального сырья. При этом пространственное расположение соседних суперкрупных месторождений будет иметь тенденцию к вытянутости вкрест простирания широких поясов развития однотипных месторождений с типичным (меньшим) объемом запасов.

Работа выполнена при поддержки РФФИ, грант № 06-05-64971 и Программы ОНЗ-2 Президиума РАН «Фундаментальные проблемы геологии, условия образования и принципы прогноза традиционных и новых типов крупномасштабных месторождений стратегических видов минерального сырья».

Список литературы

Ваньян Л.Л. Электоромагнитные зондирования. М., Научный мир, 1997, 240 с.
Roberts R.G. 1986, The deep electrical structure of the Earth. Geoph.J.Roy. Astr.Soc., v.85 N3,583-600.
Kesson S.E., Ringwood,A.E., Slab-mantle Interaction. 2. The Formation of Diamonds. Chemical Geology, 1978, v. 78, 97-118.
Martinec Z., Pec K, 1989. The influence of the core-mantle boundary irregularities on the mass density distribution inside the Earth. In: Geophys. data inversion methods and applications. Proceedings of VII Int. Mathem. Geophys. Seminar Free University of Berlin, 233-256.
Schultz A., Larsen J.C., 1990. On the electrical conductivity of the mid-mantle: II. Delineation of heterogeneity by application of the extreme inverse solution. Geoph. J. Int. 101, 565-580.
Semenov V.Yu., Jozwiak W., 1999. Model of the geoelectrical structure of the mid- and lower mantle in the Europe-Asia region. Geophys. J. Int., 138, 549-552.
Semenov V.Yu., Jozwiak W., 2006. Lateral variations of the mid-mantle conductance beneath Europe. Tectonophysics, 416, 279-288.