

МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КАК РЕЗУЛЬТАТ ДВИЖЕНИЯ ПЛИТ И МАНТИЙНОЙ КОНВЕКЦИИ (ПО КОСМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ)

В.И. Горный

*Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН
Санкт Петербург
E-mail: img@at1895.spb.edu*

Введение

Применение космических снимков для изучения геологического строения началось со второй половины 60-х годов прошлого века. Тогда же были отмечены специфические (по сравнению с аэрофотоснимками) особенности этих материалов:

- генерализация, когда отдельные геологические объекты на космическом снимке изображаются в виде единых систем, например линеаментов или кольцевых структур;
- обзорность - возможность анализа геологического строения обширных территорий.

Эти свойства космических материалов при изучении регионального геологического строения рассматривались как значительные преимущества.

В дальнейшем, наблюдалось увлечение космическими снимками все более и более высокого геометрического разрешения. Отрицательной стороной этого явилась потеря преимуществ космических материалов – обзорности и генерализации, т.к. при повышении геометрического разрешения происходит дефрагментация систем на отдельные элементы. При дешифрировании же крупномасштабных изображений трудно корректно объединить элементы в единое целое, т.к. отсутствуют строгие количественные критерии такого объединения.

В первой половине 70-х годов прошлого века появились цифровые, метрологически обеспеченные, измерительные спутниковые съемочные системы среднего геометрического разрешения (NOAA(AVHRR), а недавно и Terra(MODIS). На них установлены уже более чувствительные датчики, системы регистрации обладают высоким динамическим диапазоном (10 - 16 бит). Это открыло возможность создания уравненных цифровых мозаик на обширные территории, включающие в себя геологические единицы первого порядка – платформы, складчатые пояса. Высокая чувствительность датчиков и обширный динамический диапазон новых спутниковых сканирующих оптоэлектронных приборов позволили регистрировать и опознавать слабые эндогенные сигналы на фоне высоких экзогенных помех - ландшафта. Это обеспечило получение новых региональных геологических результатов. В настоящем докладе делается попытка показать к каким не тривиальным геологическим идеям привела разработка и применение разработка нового поколения спутниковых съемочных систем среднего разрешения.

1. Структуры мантийной конвекции

Работами В.П.Трубицина, Farnetani et al. и др. [1-3] показано, что существует два типа мантийной конвекции – мантийные плюмы (в терминологии В.П.Трубицина), развивающиеся в верхней мантии под континентальными плитами и «горячие мантийные струи», формирующиеся в нижней мантии у поверхности земного ядра и поднимающиеся к подошве литосферы, где они формируют «горячие точки» (Исландская, Гавайская и др).

Характер проявления мантийных плюмов на современных космических материалах был изложен ранее [4]. Поэтому в настоящем докладе рассматриваются только закономерности отражения на космических материалах результатов воздействия на литосферу «горячих мантийных струй».

Как показывает математическое моделирование процесса формирования «горячих мантийных струй» (Рис.1) наибольшая температура мантийного вещества в верхней части струи должна наблюдаться как в самой центральной части, так и во внешней зоне струи.

Известно, что РТ-условия на границе мантии и литосферы соответствуют твердому состоянию вещества [5,6]. При этом дефицит температуры для достижения точки плавления составляет $\sim 200^{\circ}\text{C}$ [6,7]. Из результатов математического моделирования (Рис.1) и по данным интерпретации сейсмических материалов [7] следует, что «горячая мантийная струя» поднимает температуру вещества верхней мантии на несколько сот градусов, что должно приводить к его плавлению и инициированию тектоно-магматической активизации (интрузивной и эффузивной деятельности).

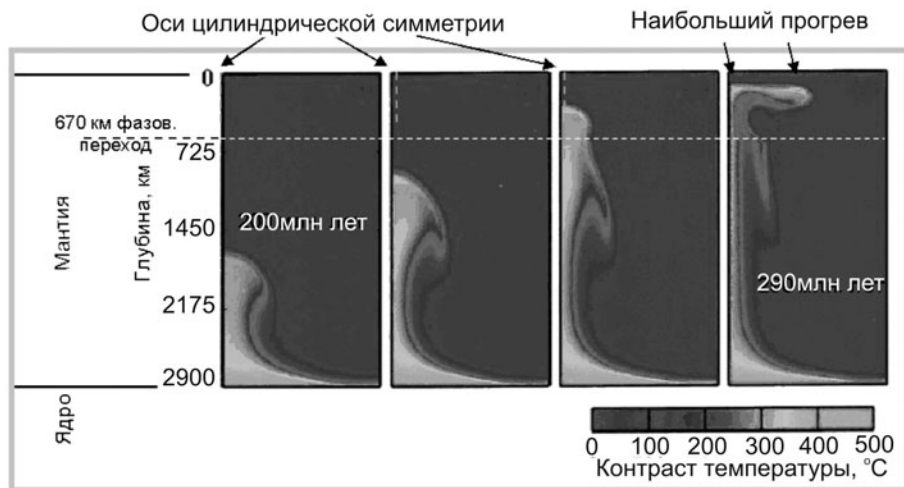


Рис.1. Результаты математического моделирования температуры «горячей мантийной струи» для различных фаз ее формирования (по С.С. Farnetani et al. [3]).

При этом, как следует из результатов математического моделирования наиболее интенсивно эти процессы должны наблюдаться в центральной (ядерной части) «горячей точки» и в ее внешней зоне. Кроме того, результаты моделирования переноса «горячей струей» вещества нижней мантии к подошве литосферы [3] показывают, что во внешней зоне «горячих точек» следует ожидать наибольшего обогащения металлами, содержащимися в земном ядре: Fe, Ni, Co, Mn, Cr [8].

Можно предположить, что воздействие на литосферу такого высокоэнергетического явления как «горячая мантийная струя» должно сопровождаться столь интенсивной переработкой земной коры, что ее последствия могут быть обнаружены на современных материалах космических съемок даже если эти преобразования имели место в далекие геологические эпохи. В связи с этим, встает вопрос о дешифровочных признаках современных и палео - «горячих точек».

Исходя из математического моделирования (Рис. 1) можно было бы ожидать, что «горячие точки» на материалах космических съемок должны индексироваться кольцевыми структурами диаметром ~ 1200 км с хорошо выраженной внешней зоной шириной ~ 300 км. Это было бы справедливо, если бы не существовало перемещения литосферных плит. Как показывает математическое моделирование [1, 2], под влиянием перемещения литосферной плиты «горячая мантийная струя» отклоняется в сторону перемещения плиты (Рис. 2). Это отклонение происходит до определенного предела, после которого происходит «срыв» струи. После чего возвращаясь в вертикальное положение струя формирует новую, соседнюю позицию «горячей точки». Далее этот процесс должен периодически повторяться в течение всего времени существования «горячей мантийной струи». Поэтому на космических материалах следует искать цепочки палеопозиций «горячих точек», состоящих из близких по форме и размерам элементов. Характерное время отклонения «горячей мантийной струи» составляет ~ 13 млн. лет. Промежуток времени между формированием соседних палеопозиций должен быть несколько больше.

В соответствии с законами гидродинамики [9] проекция наклонной «горячей мантийной струи» на дневную поверхность – «горячая точка» должна иметь форму овала с острой частью, направленной в сторону перемещения литосферной плиты (Рис. 2). Исходя из результатов моделирования, характерный размер большой оси такой региональной овальной структуры (РОС) может быть порядка 1200 – 1500 км. РОС должна иметь хорошо выраженную внешнюю зону шириной ~ 300 км. В направлении острого конца РОС – палеопозиции «горячей точки» (ПГТ) следует ожидать предыдущую ПГТ, а в направлении тупого конца – более молодую.

2. РОС на материалах космических съемок.

Анализ цифровых уравненных мозаик материалов, полученных со спутников NOAA(AVHRR), Terra(MODIS), Landsat TM, результатов космической альтиметрии позволил выявить множество РОС с характерными размерами и морфологией, соответствующими тем, которые предсказаны на основе математического моделирования «горячих мантийных струй». В качестве примера, на Рис. 3 приведены Прикаспийская и Южно-Уральская РОС, являющиеся элементами длинной цепи РОС.

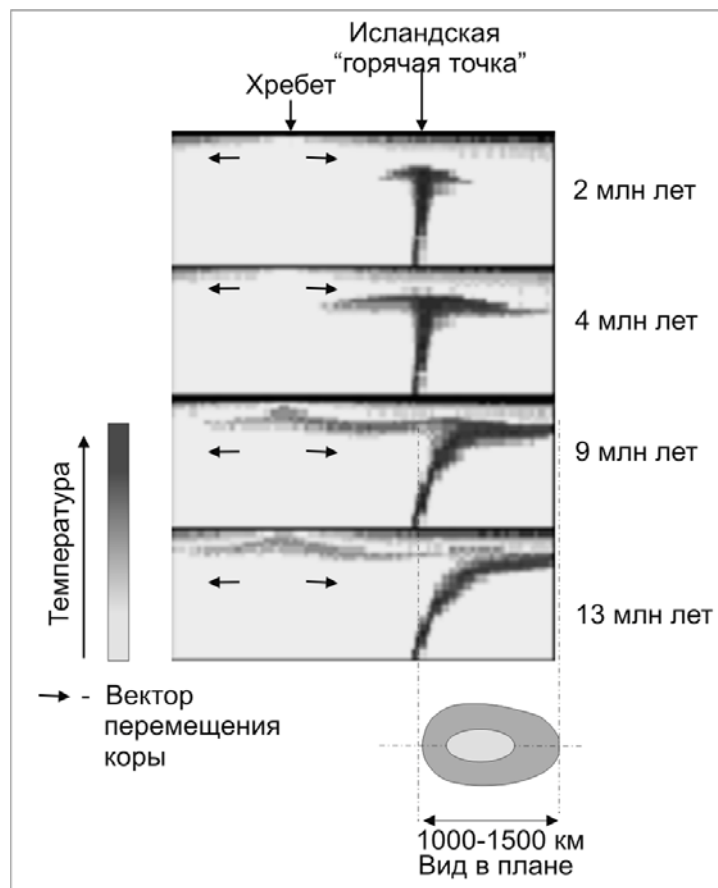


Рис. 2. Результаты моделирования отклонения «горячей мантийной струи» под влиянием перемещения литосферной плиты (результаты Лос Аламосской лаборатории (США)).

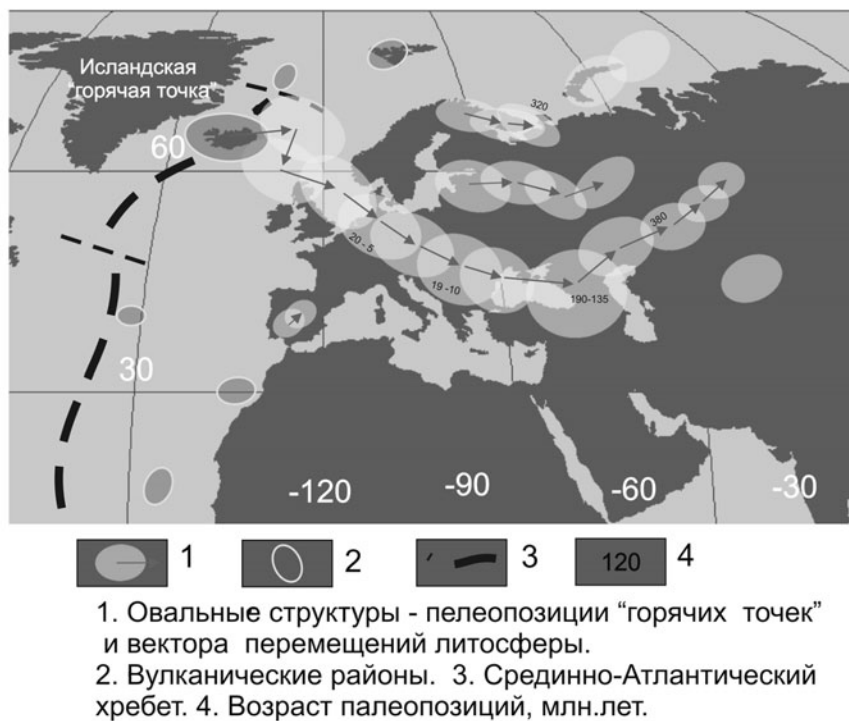


Рис. 3. Прикаспийская и Южно-Уральская РОС.

К настоящему моменту на основе анализа современных космических материалов и результатов геофизических съемок выделены следующие системы РОС:

- Исландская – начинающаяся от Исландской «горячей точки», включающая Восточно-Исландскую, Северо-Шотландскую, Североморскую, Центрально-Европейскую, Богемскую, Паннонскую, Черноморскую, Кавказскую, Прикаспийскую, Южно-Уральскую, Ишимскую, Васюганскую РОС (Рис. 4).
- Невско-Камская цепочка, состоящая из Петербургской, Рыбинской, Пучежской и Пермской РОС (Рис. 4);
- Печенгско-Карская, состоящая из Западно-Кольской, Восточно-Кольской, Мезенской, Новоземельской и Карской РОС (Рис. 4).

Дополнительно к вышеуказанным выявлены две РОС на Пиренейском полуострове, в Казахстане – Балхашская (Рис. 4), в Якутии – Мирнинская (субмеридиональной ориентировки), на юге Африки – Бушвельдская, Намибийская (СЗ ориентировки), Кимберлийская, Ангольская (субмеридиональной ориентировки).

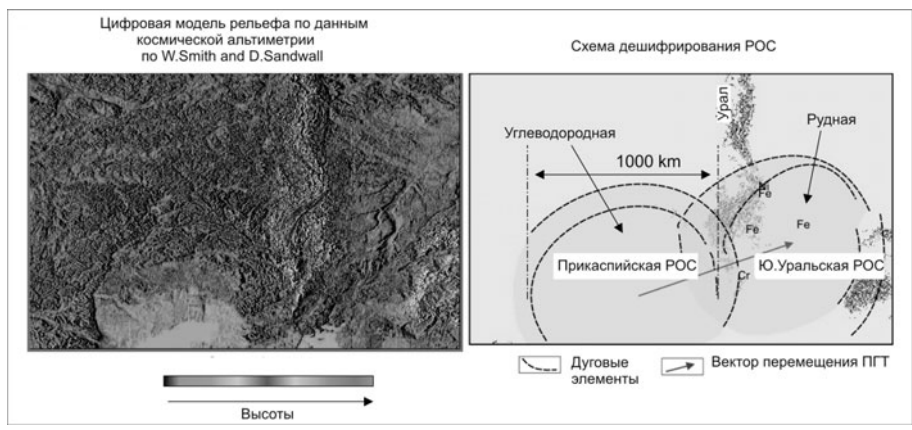


Рис. 4. Схема дешифрирования ПГТ западной части Евразийской плиты.

В Австралии выявлены две системы (цепочки) РОС:

- Южно-Австралийская, включающая никеленосный район Камбалды;
- Срединно-Австралийская. Обе эти цепочки РОС пересекают Австралийскую плиту с востока на запад. Кроме вышеуказанных, выявлена Северо-Австралийская РОС субмеридиональной ориентировки, включающая в себя известные поля алмазонасных лампроитов.

Проведенный анализ выявил следующие закономерности в морфологии РОС и их систем:

- размеры РОС колеблются в пределах 1000 – 1500 км;
- все РОС имеют хорошо дешифрируемую внешнюю зону, часто имеющую «клавишную» структуру и ядерные части, внутри которых, как правило, дешифрируются 3 кольцевые структуры второго порядка;
- цепочки РОС начинаются от известных вулканических районов. Ни более протяженная цепь начинается от Исландской «горячей точки» и прослеживается до южной части Западносибирской плиты;
- в западной части Евразийской плиты все цепочки РОС субпараллельны, что указывает на то, что в период формирования РОС плита перемещалась как единое целое;
- возраст тектоно-магматической активизации для каждой РОС увеличивается по мере удаления от вулканического района, сформировавшего РОС.
- средний промежуток времени между тектоно-магматическими активизациями в пределах цепочки РОС, начинающейся от Исландской «горячей точки» и до Кавказской РОС составляет ~ 20 млн. лет, что не противоречит результатам моделирования.

Выявленные закономерности позволяют сделать вывод о том, что регулярные системы (цепочки) РОС с характерными размерами 1000-1500 км индицируют ПГТ и сформированы «горячими мантийными струями». Подтверждением этого вывода является обнаружение И.Н.Толстихиным в газовых включениях интрузивных пород, залегающих в пределах Западно-Кольской РОС соотношения изотопов гелия, характерного для «горячих точек» [10].

3. Минерагеническая специализация ПГТ

Анализ закономерностей геологического строения и минерагенической специализации территорий в пределах выявленных ПГТ позволяет разделить их на две группы.

1. ПГТ, индицирующие осадочные бассейны, с мощным (до десятка километров и более) чехлом, часто с хорошо проявленным соленосным комплексом: Североморская, Центрально-Европейская, Паннонская,

- Черноморская, Кавказская, Прикаспийская, Ишимская, Васюганская, Рыбинская, Пучежская, Пермская, Мезенская, Новоземельская, Карская. Как правило, эти осадочные бассейны нефтегазоносны.
2. ПГТ районов с малой мощностью чехла: Богемская, Южно-Уральская, Западно-Кольская, Петербургская, Восточно-Кольская, Пиренейские, Балхашская, ПГТ юга Африки и Австралии. Эти ПГТ, как правило, характеризуются рудной специализацией с набором металлов, характерным для Земного ядра (Fe, Ni, Co, Mn, Cr, Pt) и проявлениями кимберлитового/лампроитового магматизма, например: Западно-Кольская, Южно-Уральская (Евразийская плита), Бушвельдская (юг Африканской плиты), Камбалдинская (Австралийская плита).

Причины различной минерагенической специализации ПГТ становятся понятными при сравнительном анализе Прикаспийской и Южно-Уральской ПГТ (Рис. 3). Как следует из Рис. 4 Южно-Уральская ПГТ является предыдущим по отношению к Прикаспийской ПГТ звеном в цепи палеопозиций Исландской «горячей точки». В то же время, как показал проект Уралсейс [11], Уральский хребет сформировался в результате поддвига Восточно-Европейской платформы под Западно-Сибирскую плиту, что привело к поднятию территории в пределах Южно-Уральской ПГТ и, как следствие, к эрозии осадочного чехла. В результате, Южно-Уральская ПГТ характеризуется рудной специализацией с набором металлов, характерных для земного ядра – Fe, Ni, Cr. Прикаспийская же ПГТ, где сформировался осадочный бассейн имеет углеводородную специализацию. Необходимо отметить, что в пределах Западно-Кольской ПГТ с отчетливо выраженной рудной специализацией отмечены многочисленные проявления метана, но отсутствует мощный осадочный чехол и, соответственно, отсутствуют условия для локализации и сохранности залежей углеводородов.

Таким образом, становится понятным, что минерагенический тип ПГТ зависит от последующей истории геологического развития территории. Стандартно, если не происходит воздымания территории, то после выброса «горячей точкой» большого количества эффузивного материала, происходит опускание территории и формируется осадочный бассейн¹. В результате ПГТ приобретает углеводородную специализацию (породы, обогащенные характерными для земного ядра элементами - находиться на недоступных для их поисков, разведки и добычи глубинах). Если же, нормальный процесс развития «горячей точки» прерывается тектоническими подвижками и происходят воздымание территории, приводящее к эрозии осадочного чехла, то обогащенные металлами земного ядра интрузивные и эффузивные породы оказываются в приповерхностной области и ПГТ приобретает рудную специализацию.

Наличие в пределах ПГТ, имеющих рудную специализацию характерного для земного ядра набора металлов еще раз подтверждает вывод о том, что РОС сформировались в результате воздействия на литосферу «горячих мантийных струй» и являются ПГТ.

Заключение

Полученные результаты позволяют отметить:

1. ПГТ проявляются на космических материалах как регулярные системы (цепочки) РОС с характерным размером большой оси ~ 1000 - 1500 км и хорошо выраженными внешней зоной шириной до 300 км.
2. Наблюдаются два типа ПГТ:
 - эродированные, в пределах которых кора обогащена металлами земного ядра и отмечаются проявления ультраосновного щелочного магматизма - рудная специализация;
 - погребенные - глубокие осадочные бассейны - углеводородная специализация..
3. Минерагенические таксоны «горячих мантийных струй» могут быть определены следующим образом:

Провинция – полоса воздействия «горячей мантийной струи» на литосферу, сформировавшаяся в результате перемещения литосферной плиты над «струей», в пределах которой образовалась регулярная система (цепь) ПГТ, индицируемых РОС на космических материалах.

Субпровинция – ПГТ, сформированная однократным воздействием «горячей мантийной струи» на литосферу. Минерагеническая специализация ПГТ (рудная или углеводородная) зависит от последующего (после формирования палеопозиции) геодинамического режима.

¹ Эта модель формирования ПГТ напоминает одну из простейших моделей геосинклиналей.

Литература

1. Трубицин В.П. и Рыков В.В. 1998а. Мантийная конвекция и глобальная тектоника Земли. Труды теоретического семинара Проблемы глобальной геодинамики и металлогении. El-Pub © VESTNIK OGGGN RAN © No 1(3)'98. 1998.
2. Trubitsyn V. P. and Rykov V. V. 1998b. A Self-Consistent 2D Model of Mantle Convection with a Floating Continent. *Russian Journal of Earth Sciences*. Vol 1, No. 1, July 1998.
3. Farnetani C. G., Legras B., Tackley P. 2002. Mixing and deformations in mantle plumes. *Earth and Planetary Science Letters* 196 (2002).pp. 1-15.
4. Gorny, V.I. 2002a. The mantle convection and the drift of Euro-Asian plate (according the remote geothermal method). *Proceedings of IGARSS 2002 & 24-th Canadian Symposium on Remote Sensing, 24-28 June 2002. Toronto, Canada.* 0-7803-7537-8/02/\$17.00©. Vol IV. pp.2029-2035.
5. King S.D. Model of mantle viscosity. *Global Earth Physics. A handbook of physical constants. Mineral physics and crystallography* / Thomas J. Ahrens, editor. (AGU reference shelf ISSN 3080-305X; 2). Copyright 1995 by the American Geophysical Union 2000. Florida Avenue, N.W. Washington, DC 20009.
6. Сорохтин О.Г., Митрофанов Ф.П., Сорохтин Н.О. Происхождение алмазов и перспективы алмазоносности восточной части Балтийского щита. *Геологический институт Кольского научного центра. Апатиты.* 1996, 143с.
7. Yang Shen et al. 1998. Seismic evidence for a lower-mantle origin of Iceland plume. *Nature*. No 3, September 1998, Vol. 395. pp.62-65.
8. Newsom H.E. Composition of the Solar System, Planets, Meteorites, and Major Terrestrial Reservoirs. *Global Earth Physics. A handbook of physical constants.* / Thomas J. Ahrens, editor. (AGU reference shelf ISSN 3080-305X; 2). Copyright 1995 by the American Geophysical Union 2000. Florida Avenue, N.W. Washington, DC 20009.
9. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. 1977: Проблемы гидродинамики и их математические модели.. Наука. М. 408с.
10. Tolstikhin I. N. et al., "Low mantle plume component in 370 Ma old Kola ultrabasic-alkaline-carbonatite complexes: Evidences from rare gas isotopes and related trace elements". *Russian Journal of Earth Sciences*, Vol 1, No. 2. 1998.
11. Горный, В.И. и др. 2001. Модель мантийно-литосферного взаимодействия по данным комплексирования на геотраверсе Уралсейс сейсморазведки и дистанционного геотермического метода. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект Уралсейс). Монография. Тверь. Изд. ГЕРС.2001. – 286с.