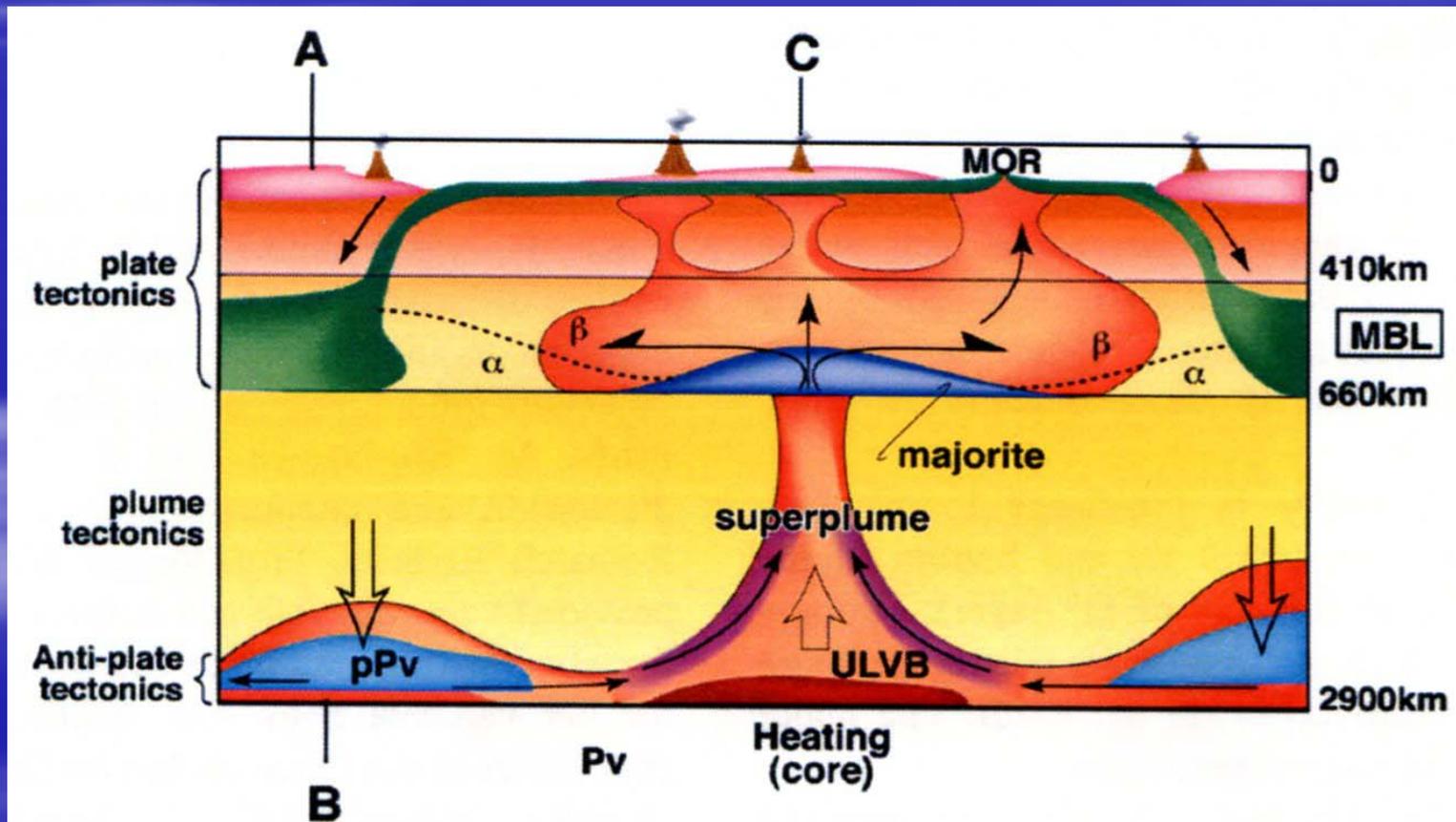


Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В.

Внутриплитовый магматизм и связанные с ним месторождения полезных ископаемых.



История выявления внутренних структур Земли

Изучение структуры Земли, сложнее, чем нашей планетной системы. Планета Плутон расположена в 6 млрд. км от Земли. Математические расчеты в 1915 году позволили П. Ловеллу теоретически предсказать существование Плутона. В 1930 году Плутон был открыт астрономом К. Томба, который использовал предсказания П. Ловелла.

Ядро Земли установлено в 1897 г. Э. Вахертом радиусом около 3470 км. В настоящее время радиус ядра 3500 км. Глубина залегания ядра установлена в 1910 Б. Гутенбергом – 2900 км. В 1936 году И. Леманн установил существование внутреннего (твердого) и внешнего (жидкого) ядра Земли. В 1904 г. Ван-Хейз ввел понятие астеносфера. В 1914 году Дж. Варелл обозначил астеносферу как слой пониженной вязкости.

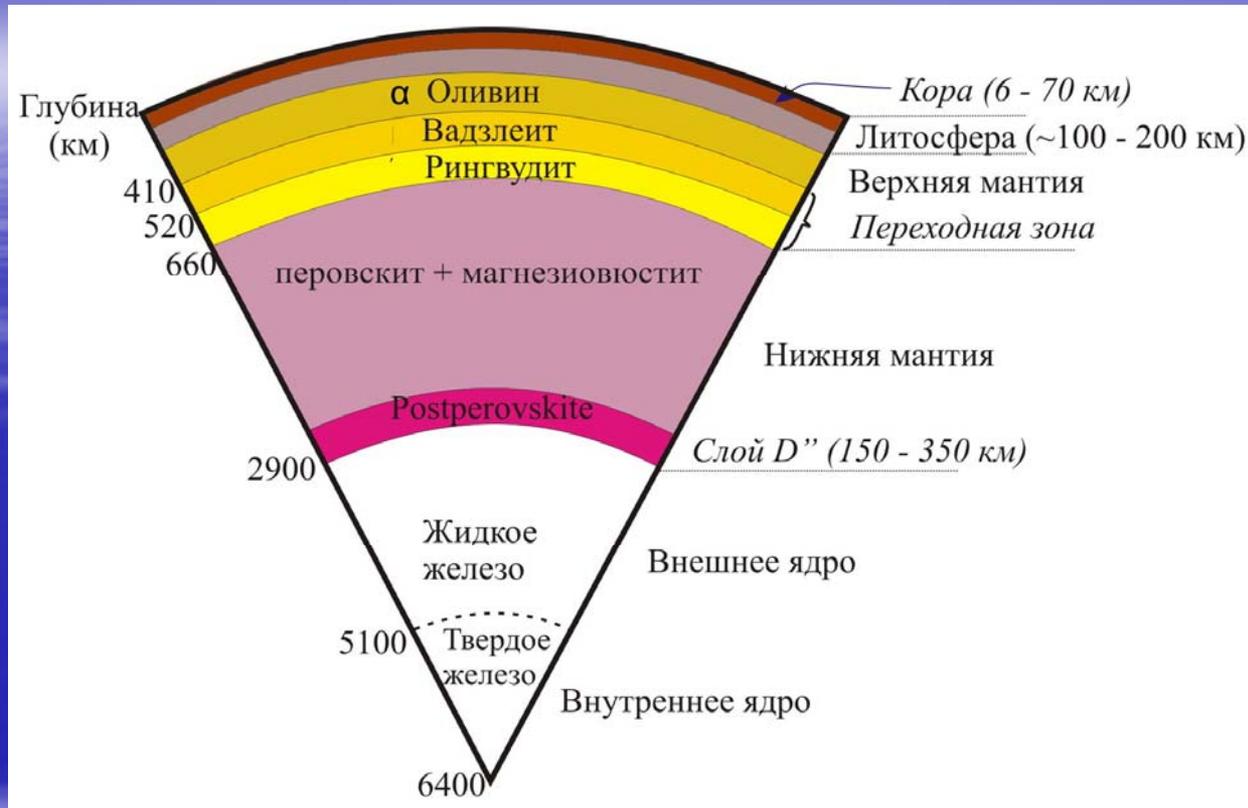
Поверхность Мохоровича являющаяся подошвой земной коры установлена в 1909 году. Г. Джеффрис и Б. Гутенберг в начале XX века ввели понятие о трехчленном разделении Земли: ядро, мантия, земная кора.

Часть верхней мантии, лежащая над астеносферой вместе с земной корой стала выделяться как литосфера в начале 60-тых годов XX столетия.

В середине XX столетия была выделена граница 670 км, отделяющая верхнюю и нижнюю мантию.

Начало 40-вых годов XX столетия К. Буллен выделил слой D'' на границе ядро-мантия, как слой уменьшения градиентов сейсмических скоростей (причины были неизвестны до начала XXI века).

Внутреннее строение Земли



В 2002-2004 гг. был определен постперовскит как более плотной структурной упаковки по сравнению с перовскитом (на 1,2 %).

Обоснование постперовскита было получено путем квантово-механических расчетов (Oganov et al., 2004) и экспериментально с применением алмазной наковальни (Mura Kami, Horose et al., 2004) MgSiO_2 (перовскит – основной минерал нижней мантии) при P 124-127 ГПа и T 2500-3000 К трансформируется в постперовскит со структурой CaI_2O_3 . Переход фиксируется на глубинах 2700-2900 км, т.е. в слое D''.

Открытие перовскита пролило свет на количество тепла поступающего из ядра в мантию. Оно равно 5-10 тераватт (ТВт)

Разрез Земли по данным сейсмофотографии

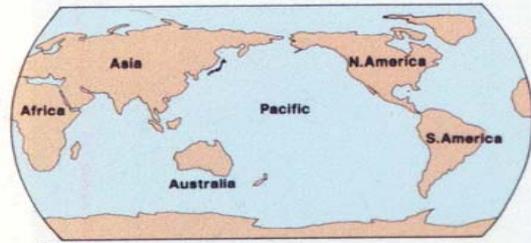
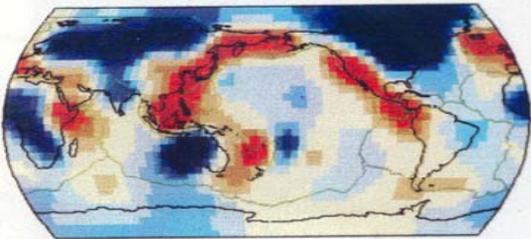


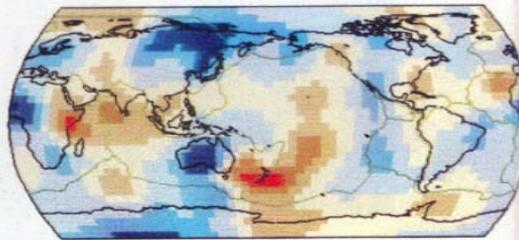
Fig. 16. Journey to the interior of the Earth. High-resolution images of the Earth's interior obtained by seismic tomography. Smoothed seismic velocity perturbation maps of fourteen layers in a depth ranges 78.1 to 2900 km. The scale ranges from -1% (blue) to +1% (red). Although the outer layer of the Earth is characterized by plate tectonics, upwelling and downwelling plumes are predominant features in the deep mantle.

Slow +1.0% — —1.0% Fast

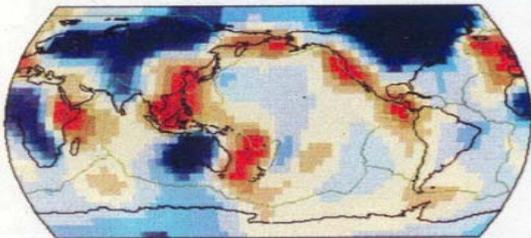
78.1 – 147.7 km



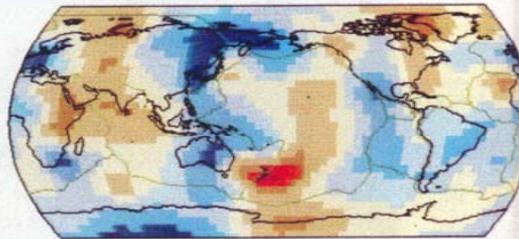
347.7 – 478.1 km



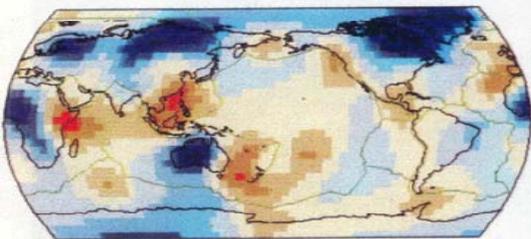
147.7 – 237.5 km



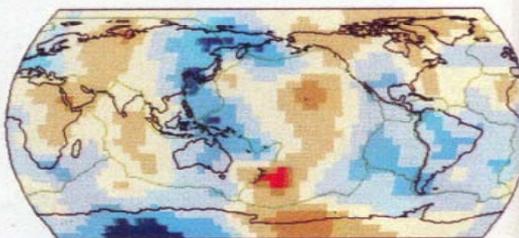
478.1 – 628.9 km



237.5 – 347.7 km

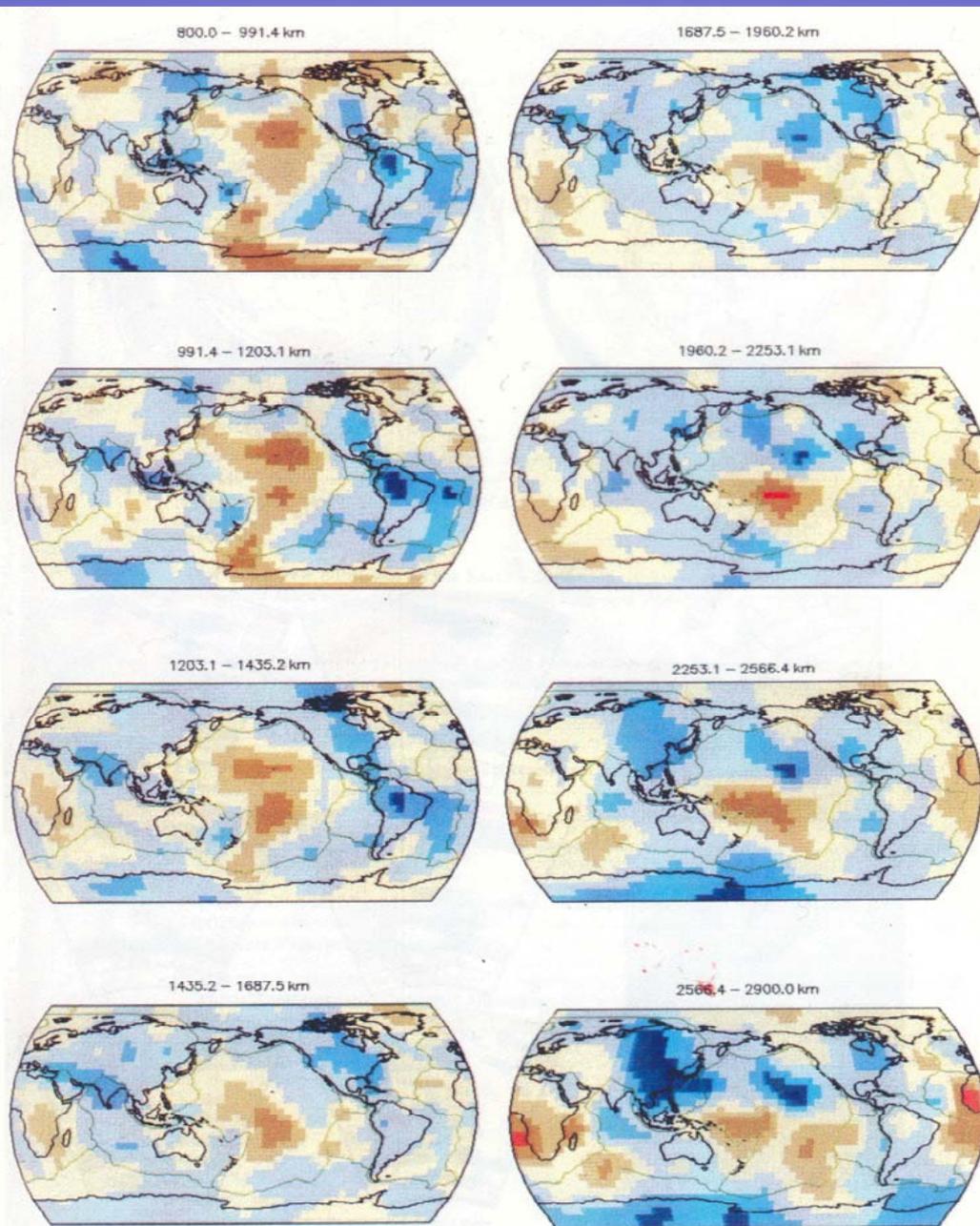


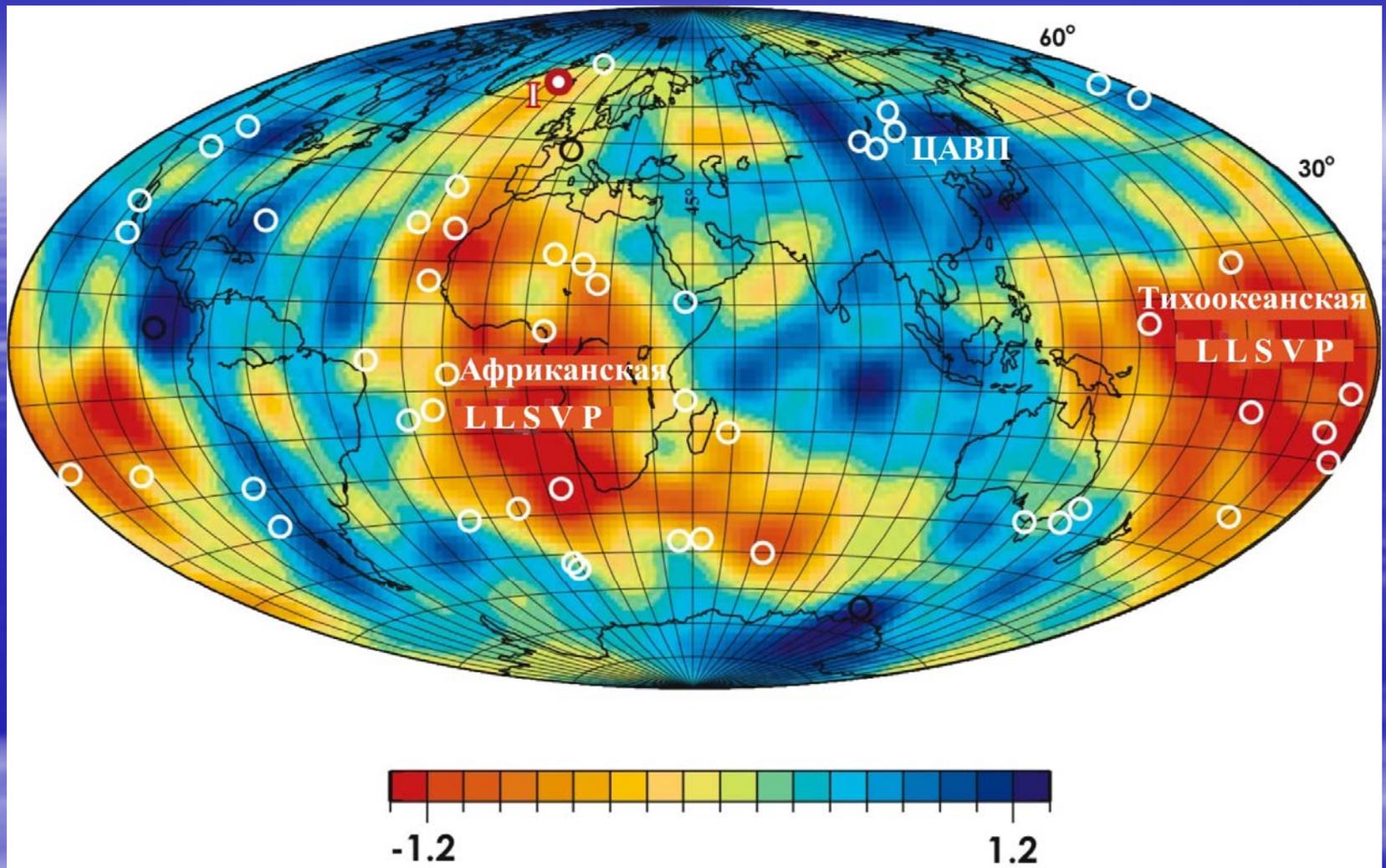
628.9 – 800.0 km



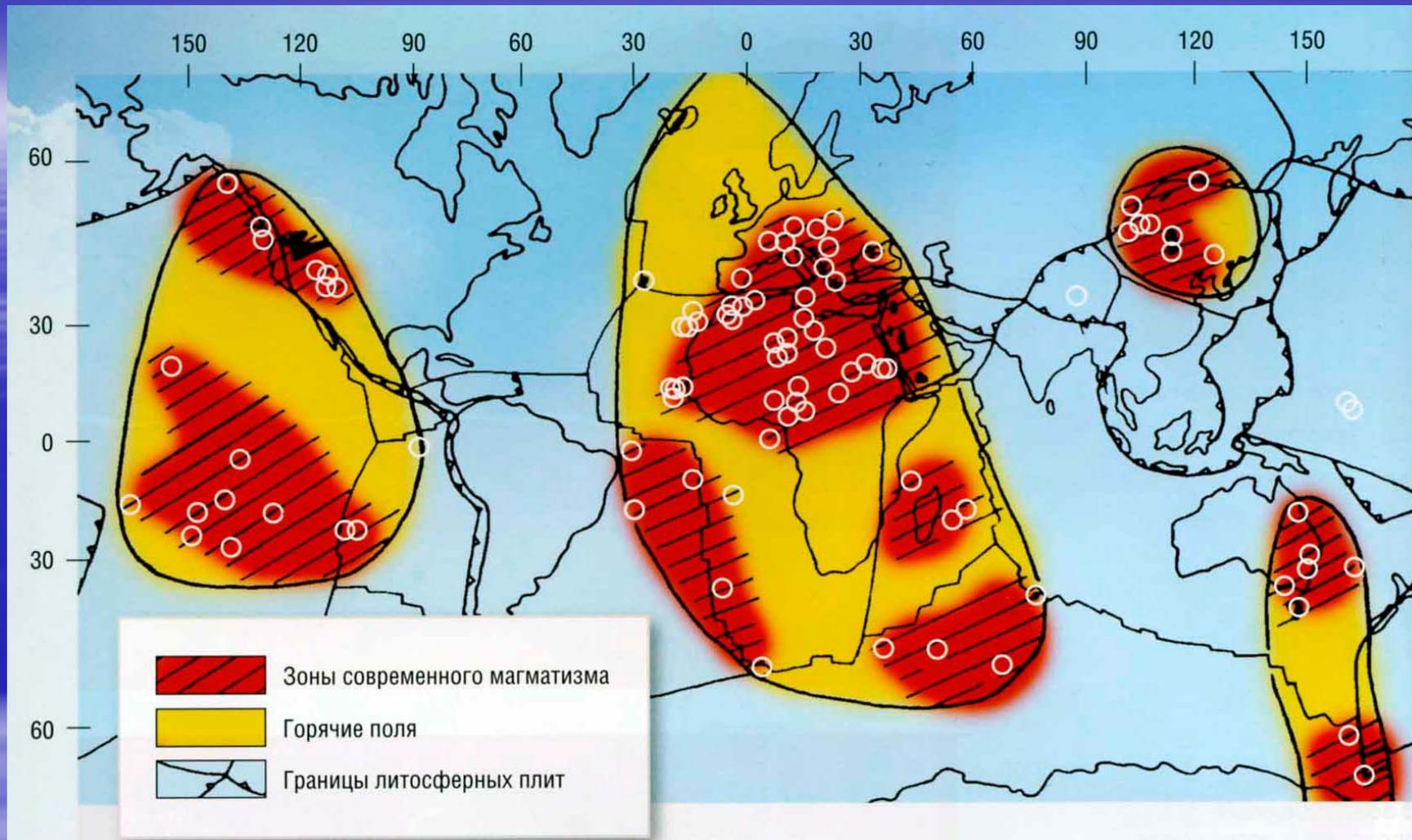
В начале 80-тых годов А. Дзевонский по данным сейсмофотографии выделил горячие (меньшие скорости сейсмических волн и LLSVP (Large Low Shear Velocity Province) и холодные (высокие скорости) поля мантии.

Разрез Земли по данным сейсмоотомографии





Сейсмотомография показала LLSVP прослеживаются от границы ядро-мантия до поверхности Земли. На поверхности они выделены как Африканский и Тихоокеанский суперплюмы (Courtilot et al., 2003; Burke, Torsvik, 2004), к ним приурочены 49 современных горячих точек.



Нами выделены практически одинаковые горячие поля мантии Земли в 1989 г. (Зоненшайн, Кузьмин, 1983)

Очевидно, следует использовать термин геодинамика в широком значении, включая общую (глубинную) и частную (тектонику литосферных плит) геодинамику.

... мы стоим на пороге новой научной революции. Мне кажется, что тектоника плит войдет составной частью в глубинную геодинамику, как ньютоновская механика вошла в квантовую механику.

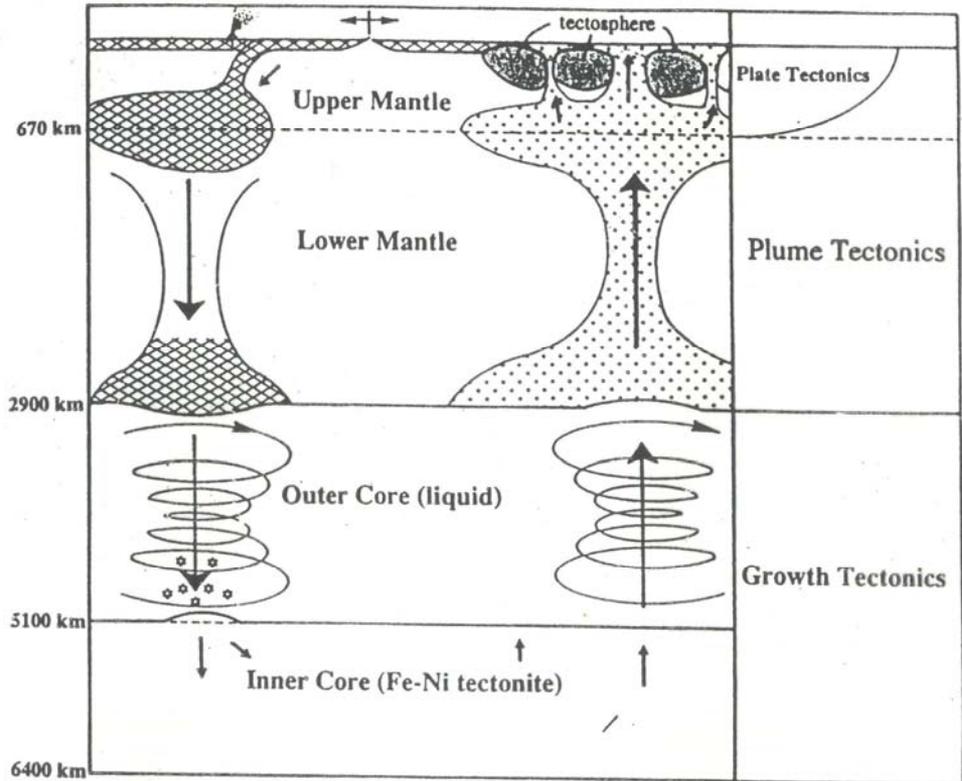
Л.П. Зоненшайн, 25.X.1991

Но уже в 1994 году Маруяма предложил выделить 3 составные части геодинамики.

К новой парадигме

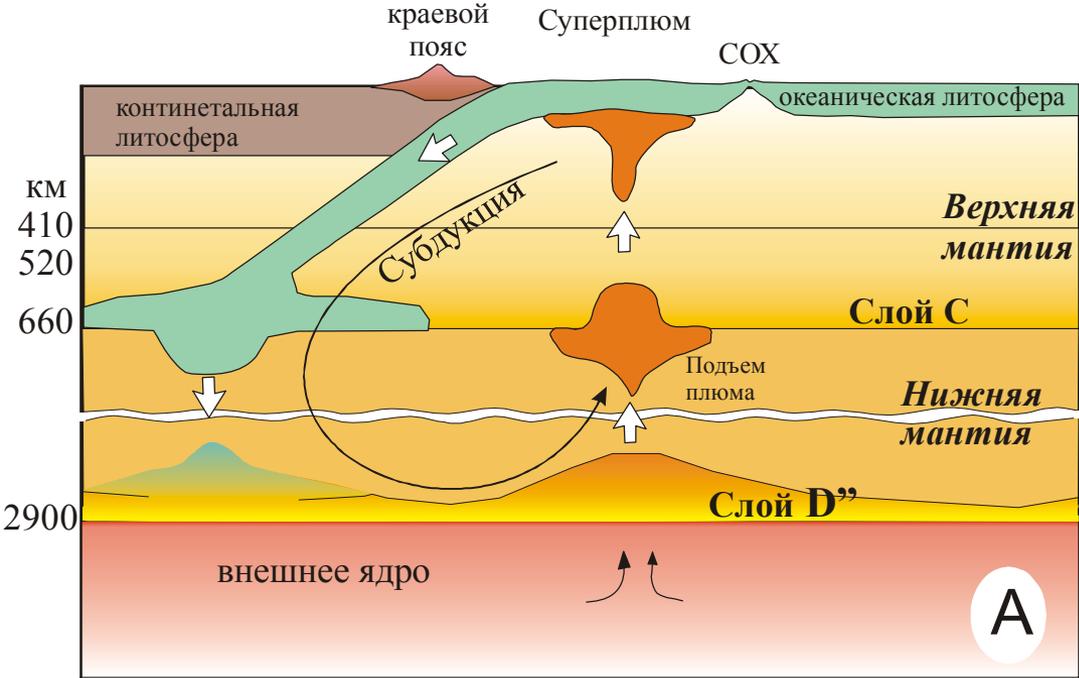
Jour. Geol. Soc. Japan, 100 (1)

Towards a new paradigm



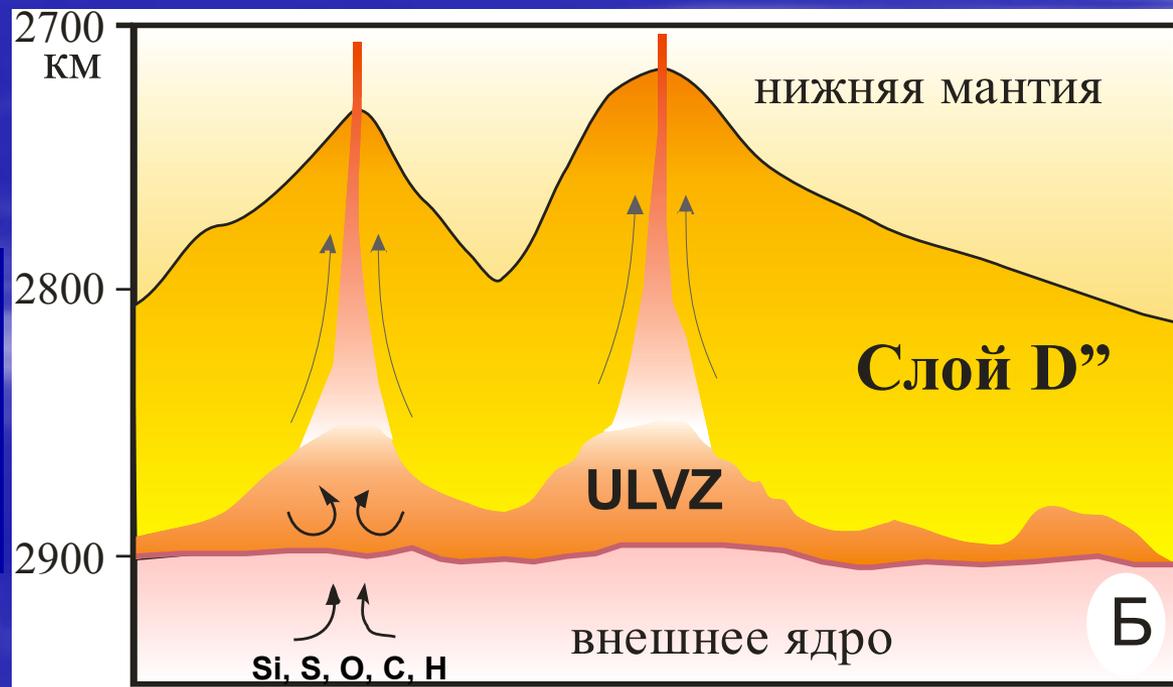
Важными для дальнейших построений являются два факта

- 1) В переходной зоне (410-670 км) находятся два минерала вадзлеит и рингвудит – главные аккумуляторы воды, запасы которой превышают объем Мирового океана.
- 2) Внутреннее ядро имеет плотность 12,5 г/см³; внешнее – 11 г/см³. Плотность внешнего ядра на 10 % меньше плотности расплава Fe с доставкой Ni от 5 до 15 мас.%. Сделан вывод о том, что во внешнем ядре имеются легкие элементы: Si, S, O, C и H, которые поднимаются от ядра в мантию вместе с плюмами.

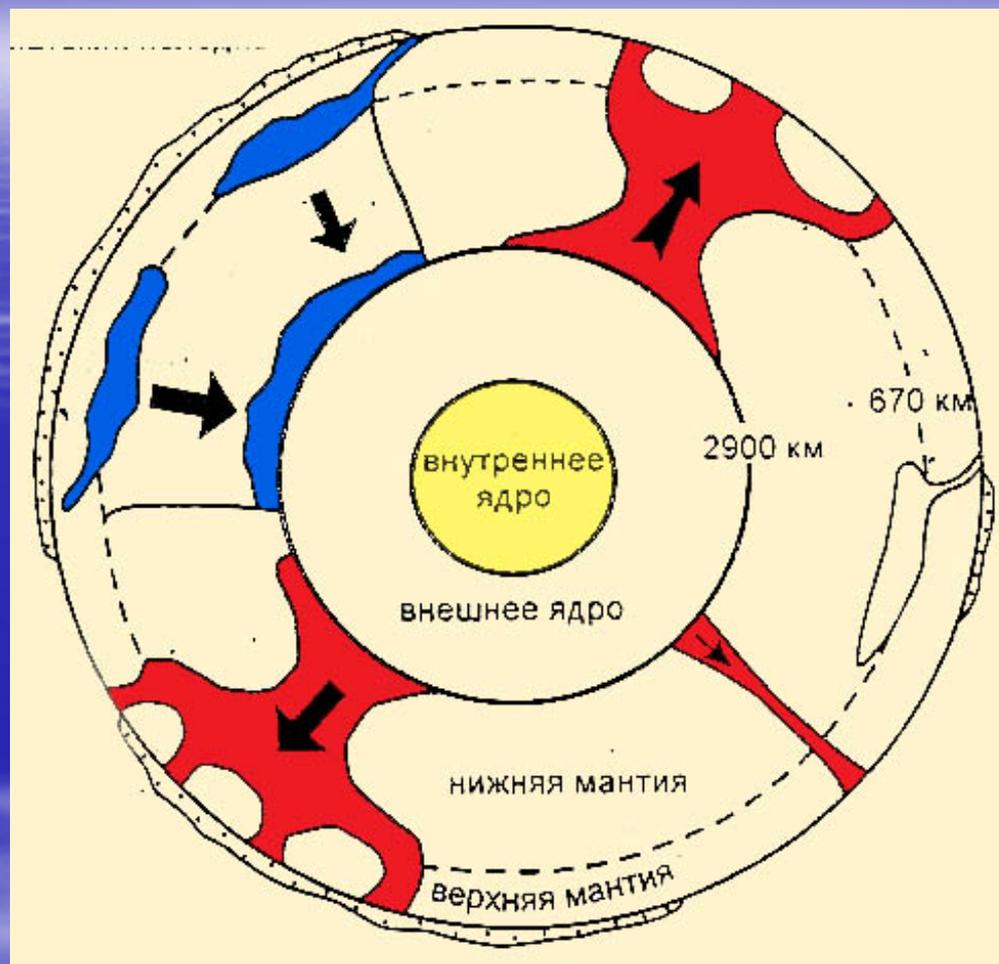


В начале XXI века было установлено [Zhao, 2001; 2007; Fukao et al., 2009], что субдуцированные плиты могут опускаться до переходной зоны нижней – верхней мантии, где стагнируется большая часть плит.

Часть субдуцированного материала проходит в верхнюю мантию и доходит до слоя D'', где они участвуют в формировании глубинных плюмов



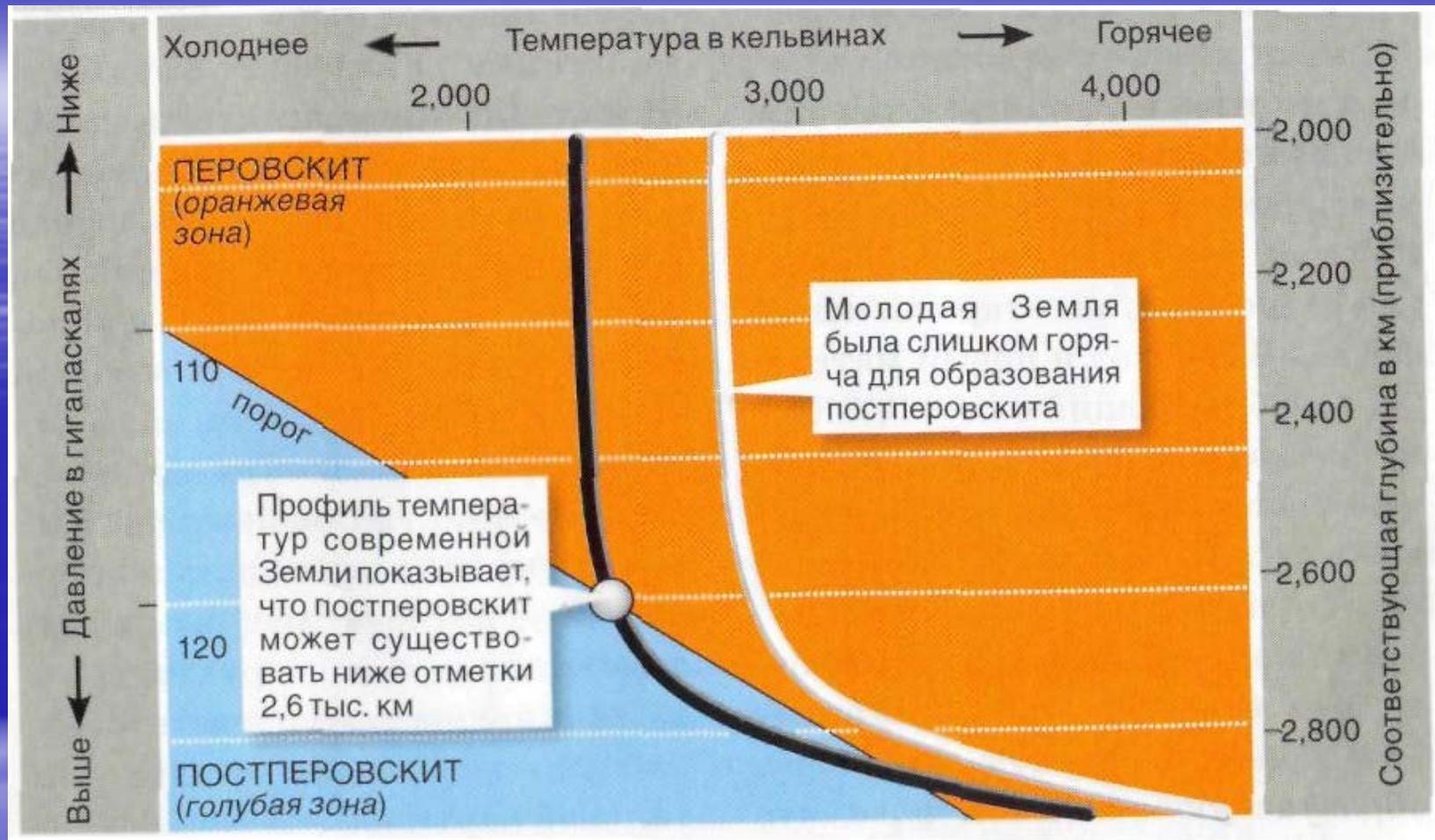
Модель вещественной и тепловой конвекции в современной Земле по (Maruyama et al., 1994)



Плюм от границы ядро-мантия (слой D'') поднимается до границы верхней-нижней мантии, распадается на серию мелких плюмов, которые поднимаются до поверхности Земли, образуя большие провинции магматических (LIP) внутриплитовых пород. Плюмы участвуют в процессе рециклинга литосферы.

Внутриплитовый магматизм представлен ассоциациями пород повышенной щелочности, а именно: щелочными базальтами, щелочными габброидами, фонолитами, трахитами, комендитами, пантеллеритами и другими. В океанах внутриплитовый магматизм представлен главным образом вулканиками океанических плато и островов, среди которых отмечаются как толеитовые, так и щелочные базальты. Однако и те, и другие обогащены литофильными элементами по сравнению с базальтами СОХ как минимум в 1,5–2 раза. Близки к составу базальтов океанических островов и базальты трапповых провинций. Отличие внутриплитовых базальтов от базальтов СОХ позволило говорить об источнике внутриплитового магматизма отличного от деплетированной мантии – источнике базальтов СОХ. Высказывается мнение как об ювенильном, нижнее-мантийном источнике таких расплавов, так и рецикличном литосферном происхождении обогащенной мантии.

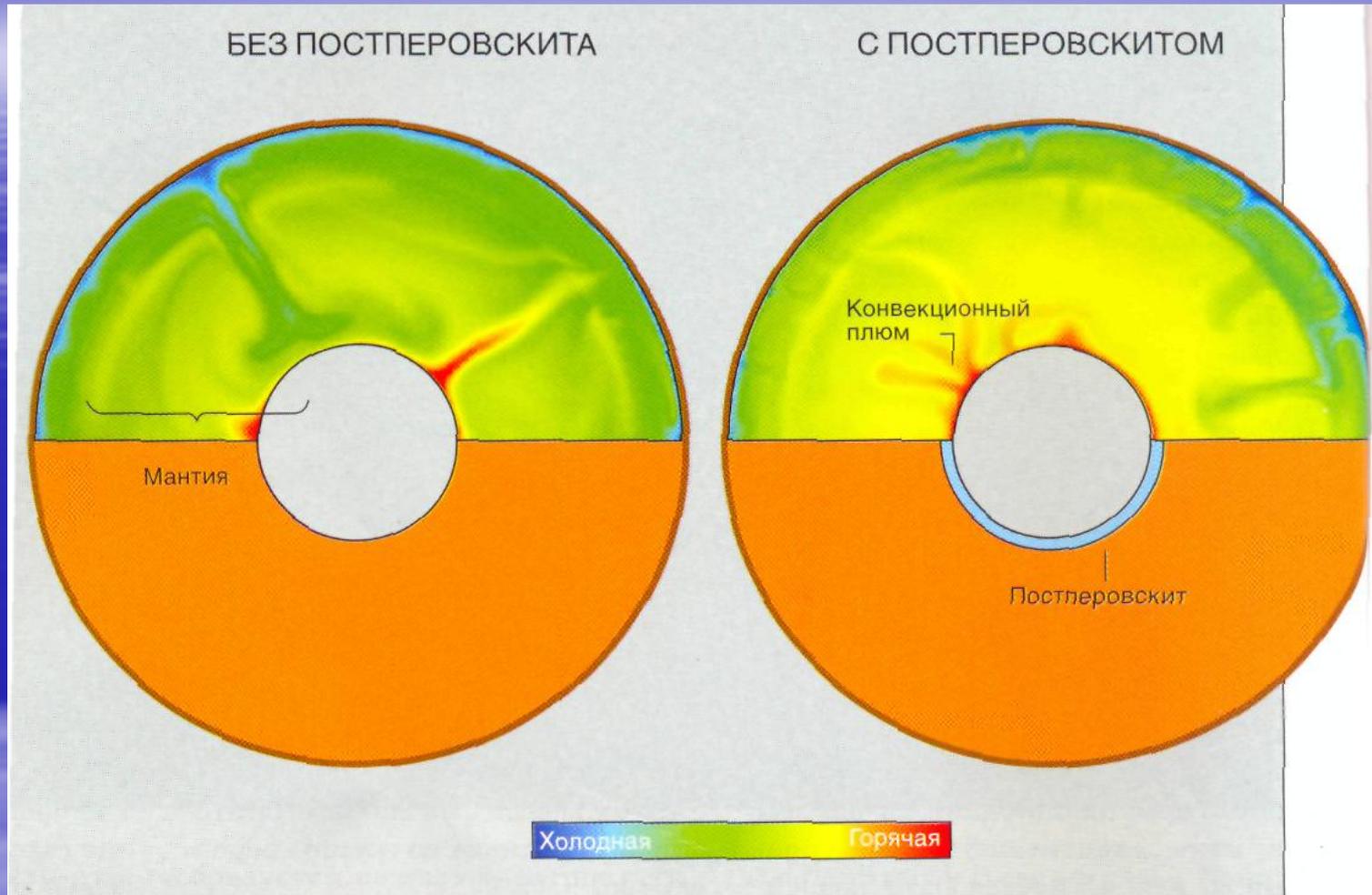
Когда начал формироваться постперовскит в Земле



В современной Земле постперовскит образуется на глубине 2600-2900 км., т.е. в слое D'' (профиль температур черный).

В ранней Земле он не формировался в связи с высокой температурой Земли (профиль температур белый).

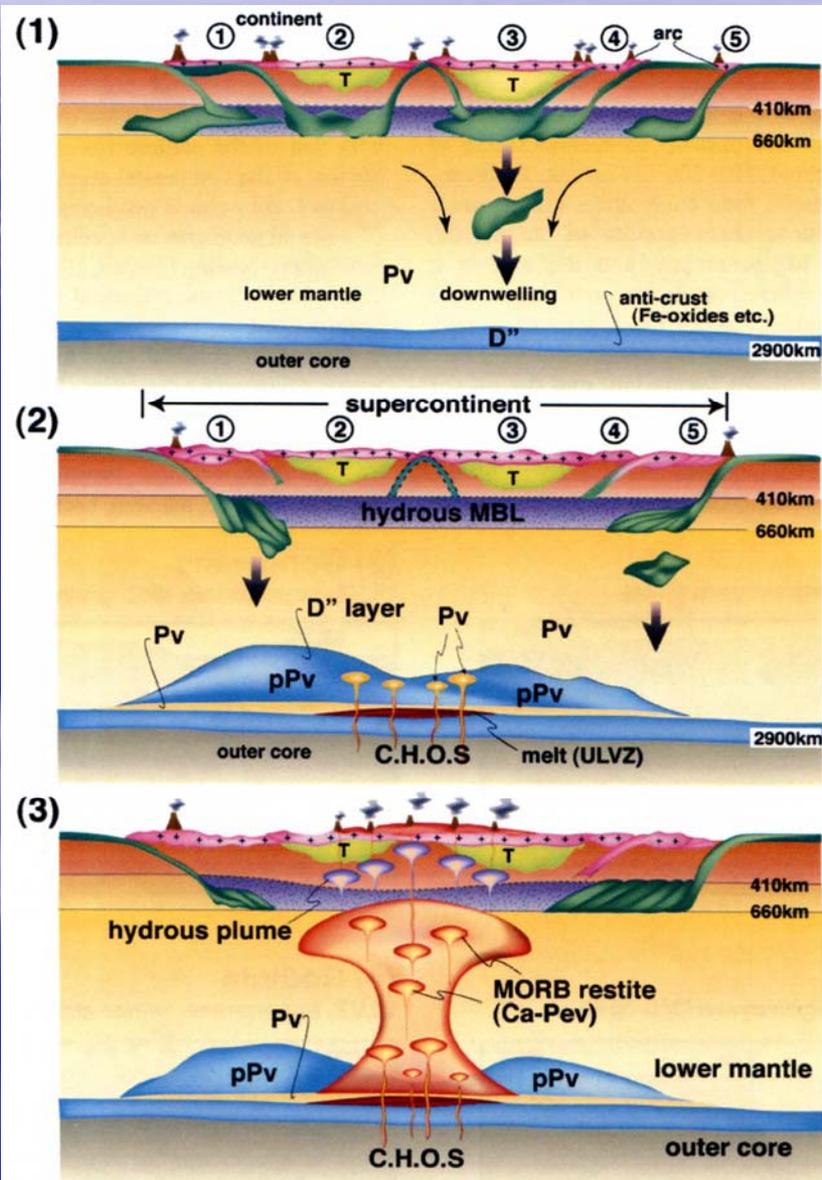
Конвекция в мантии без постперовскита с постперовскитом (по К. Хиросе, 2010)



2,3 млрд. лет начал формироваться постперовскит из перовскита. С этого времени начинают быстрее (почти в 2 раза) расти континенты. Началось формирование внутреннего твердого ядра, появилось магнитное поле. Около 1 млрд. лет тому назад полностью сформировалось внутреннее ядро. Появилось современное магнитное поле.

Суперконтиненты – суперплюмы

(лучшее доказательство связи тектоники плит и тектоники плюмов)

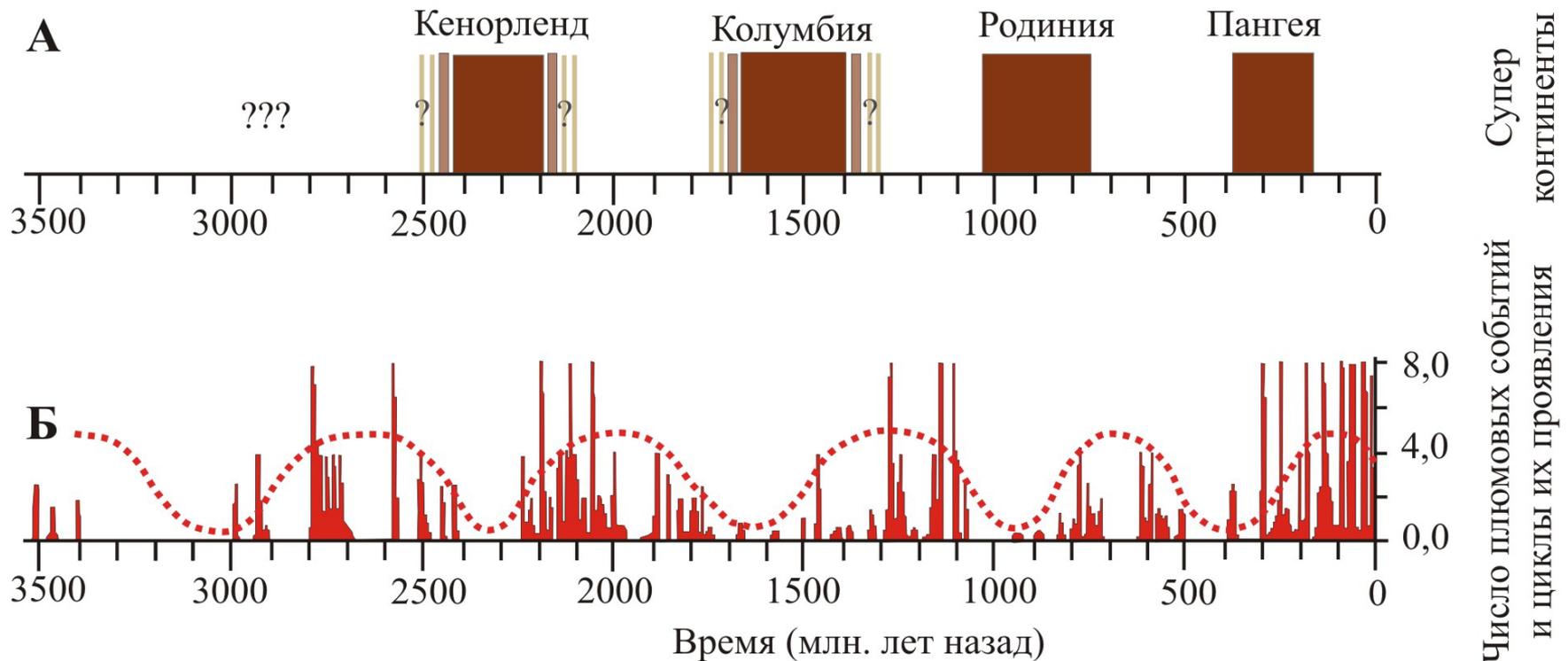


1. Формирование суперконтинента.

2. Аккумуляция плит под суперконтинентом. Захоронение плит формирующих плотный мощный D'' слой с постперовскитом. Рециклирование MORB внутри захоронения плит. Подъем малых плюмов под ядро суперконтинента.

3. Формирование суперплюма, его подъем к суперконтиненту, начинается процесс рифтинга.

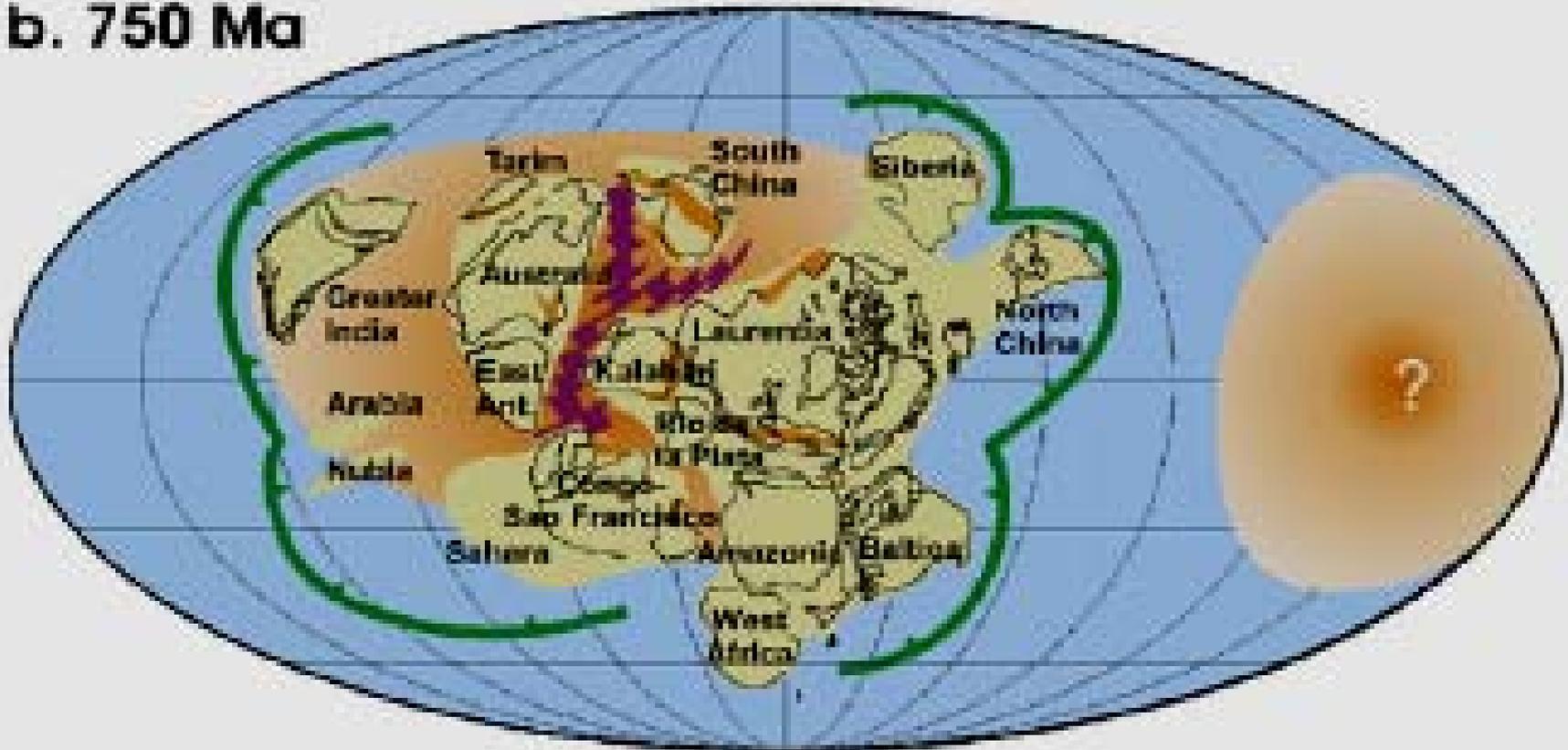
Взаимодействие суперконтинентов и плюмов.



Наиболее хорошо реконструированы истории суперконтинентов Родиния и Пангея.

История суперконтинента Rodinia

b. 750 Ma

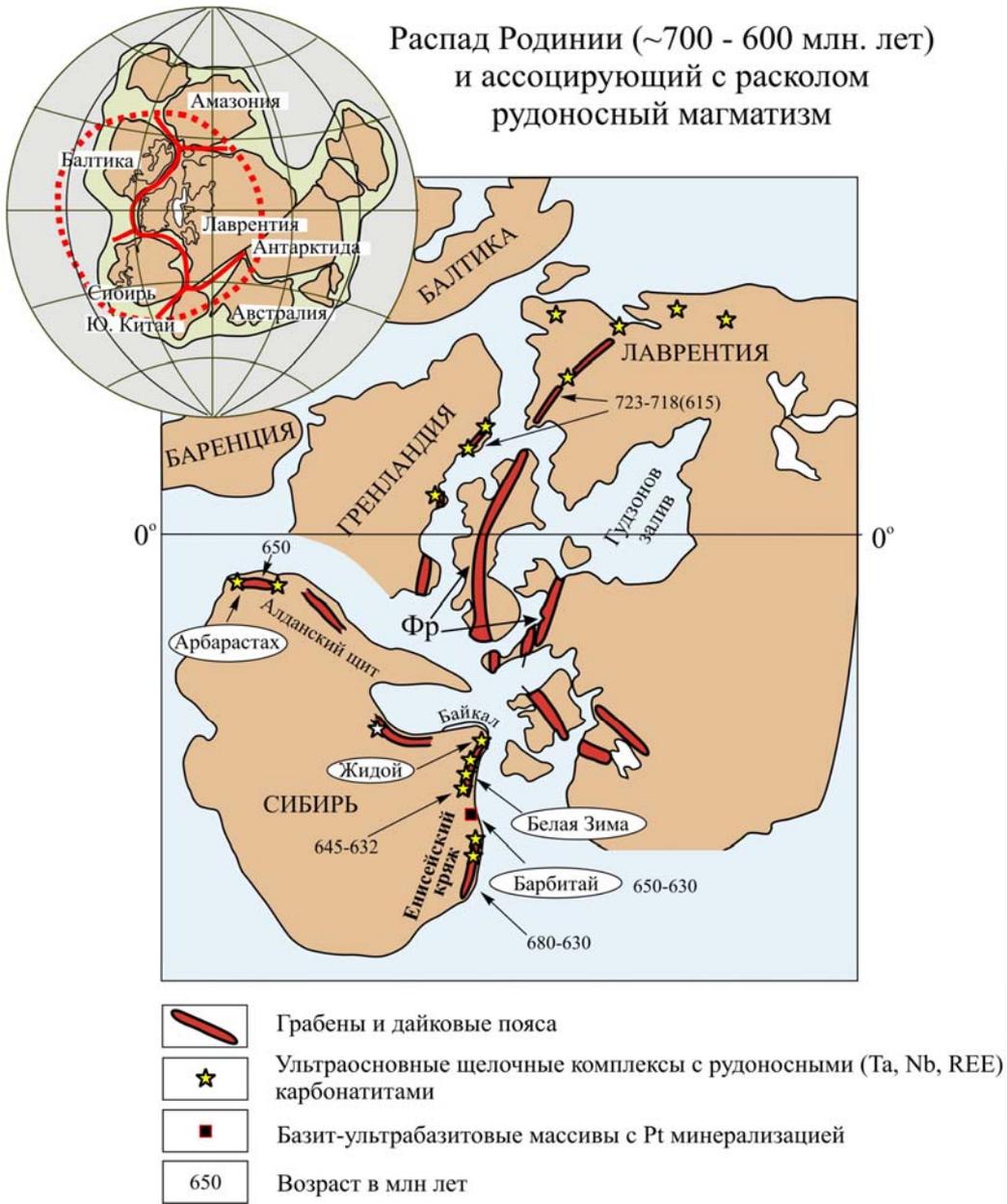


Суперконтинент Rodinia сформировался 1 млрд. лет тому назад.

Начал раскалываться суперплюмом 750 млн. лет.

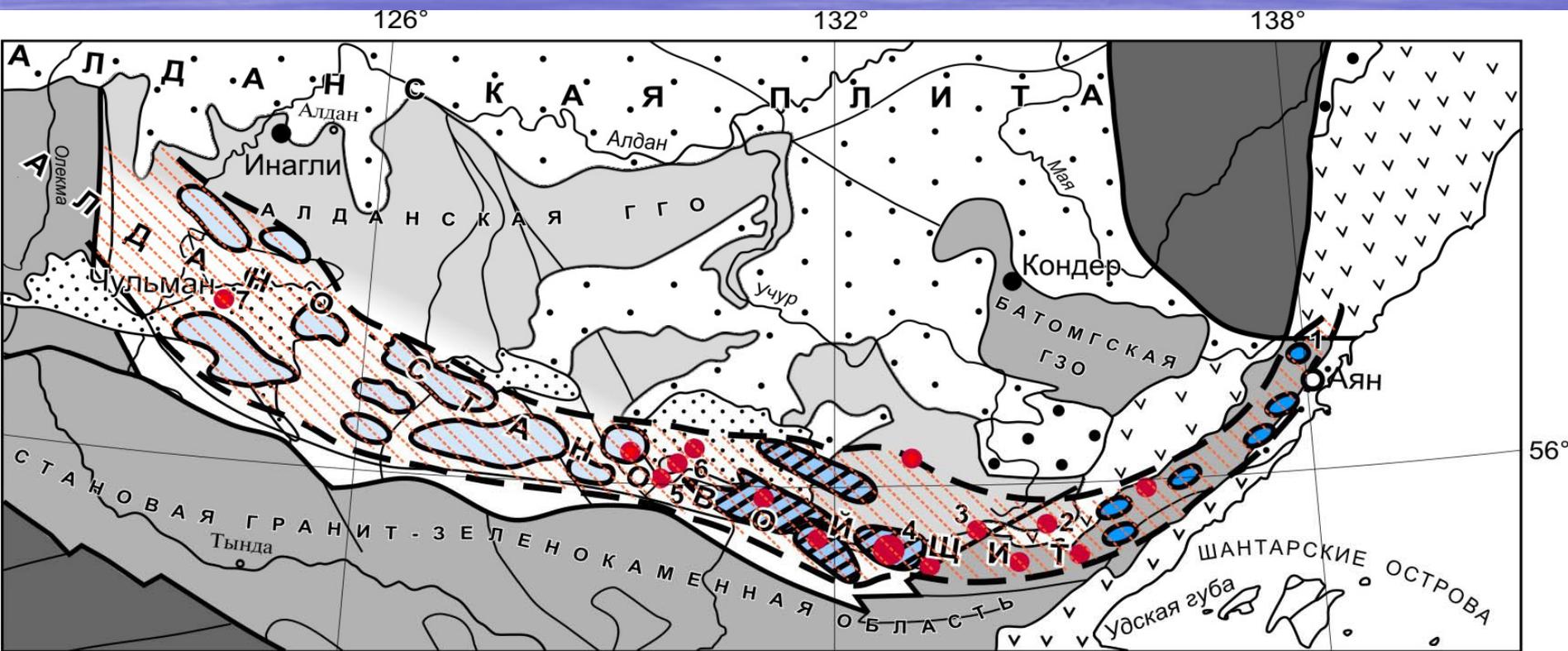
Антиподальный плюм сформировался на океанической полусфере Земли.

Распад Родинии и «плюмового магматизма»



При распаде Родинии, под влиянием плюма сформировались Восточно-Саянский щелочные комплексы с рудоносными карбонатами и базит-ультрабазитовые массивы с Ni-Cu-Pt минерализацией.

Схема размещения интрузий никеленосных мафит-ультрамафитов, рудопроявлений и литохимических ореолов рассеяния в пределах Джугджуро-Станового пояса.



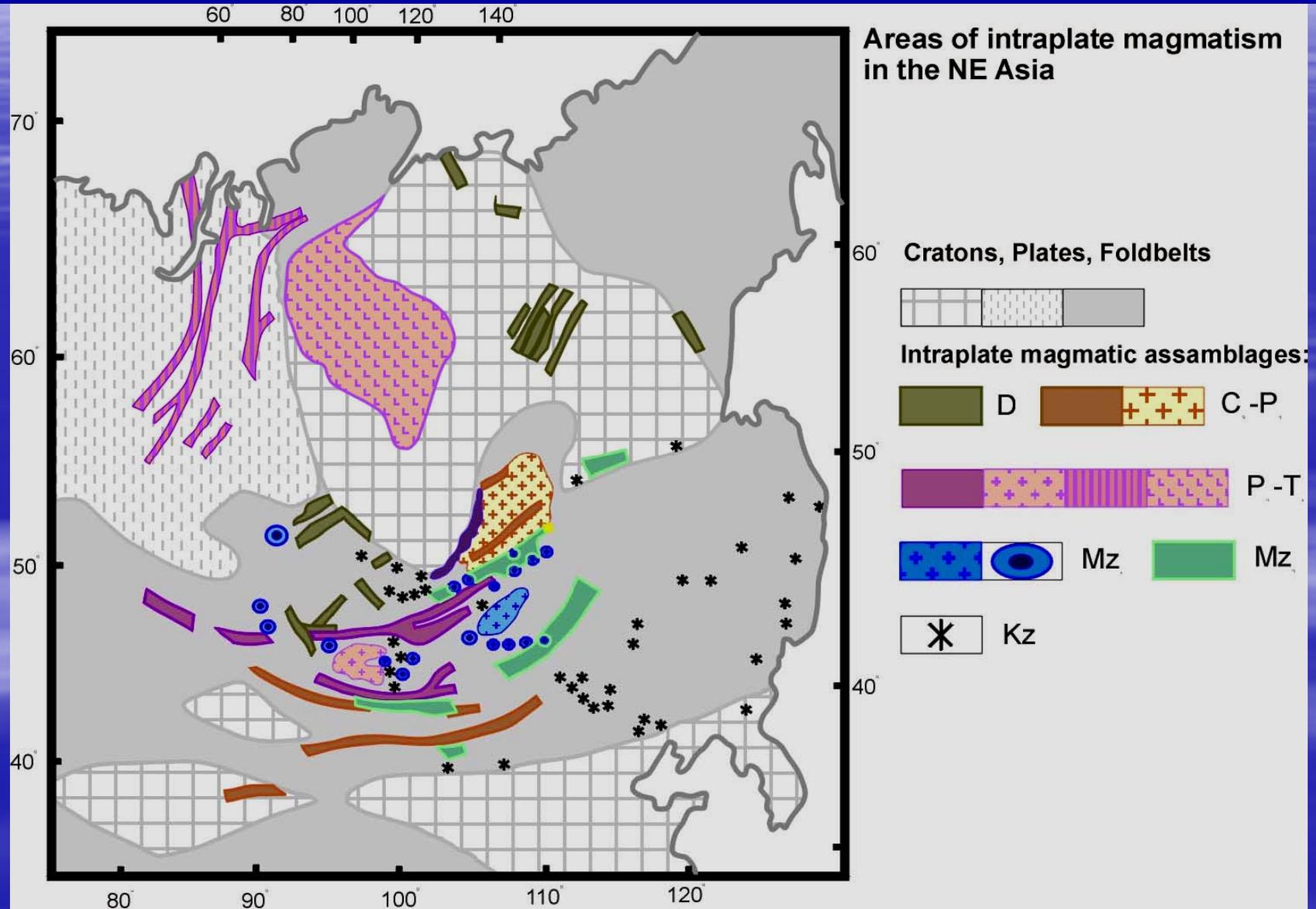
Джугджуро-Станового пояс Cu-Ni-Pt интрузиями мафит-ультрамафитов с возрастом 1700 млн. лет (Возможно связан с расколом суперконтинента Kenorlanda)

При распаде суперконтинентов под влиянием суперплюмов формируются

- 1) базит-ультрабазитовые интрузии, среди которых выделяются следующие разновидности пород: дунит-гарцбургиты, дунит-перидотит-пироксениты; апортонит-пироксенит-габбро; долериты. Минарелизация: Ni-Cu-Pt (запасы Ni в массивах Восточного Саяна до 1 млн. т.; содержание Pt в рудах до 20 г/т.);**
- 2) массивы ультраосновных щелочных комплексов с рудоносными (Nb, Ta, REE) карбонатитами;**
- 3) редкометалльные пегматиты (Ta, Li, Cs).**

Сибирь. Внутриплитовый магматизм.

Ареалы проявлений фанерозойского внутриплитового магматизма в Центральной Азии



Используя положения ареалов разновозрастных внутриплитовых пород были выполнены абсолютные палеорекострукции Сибирского континента в фанерозое

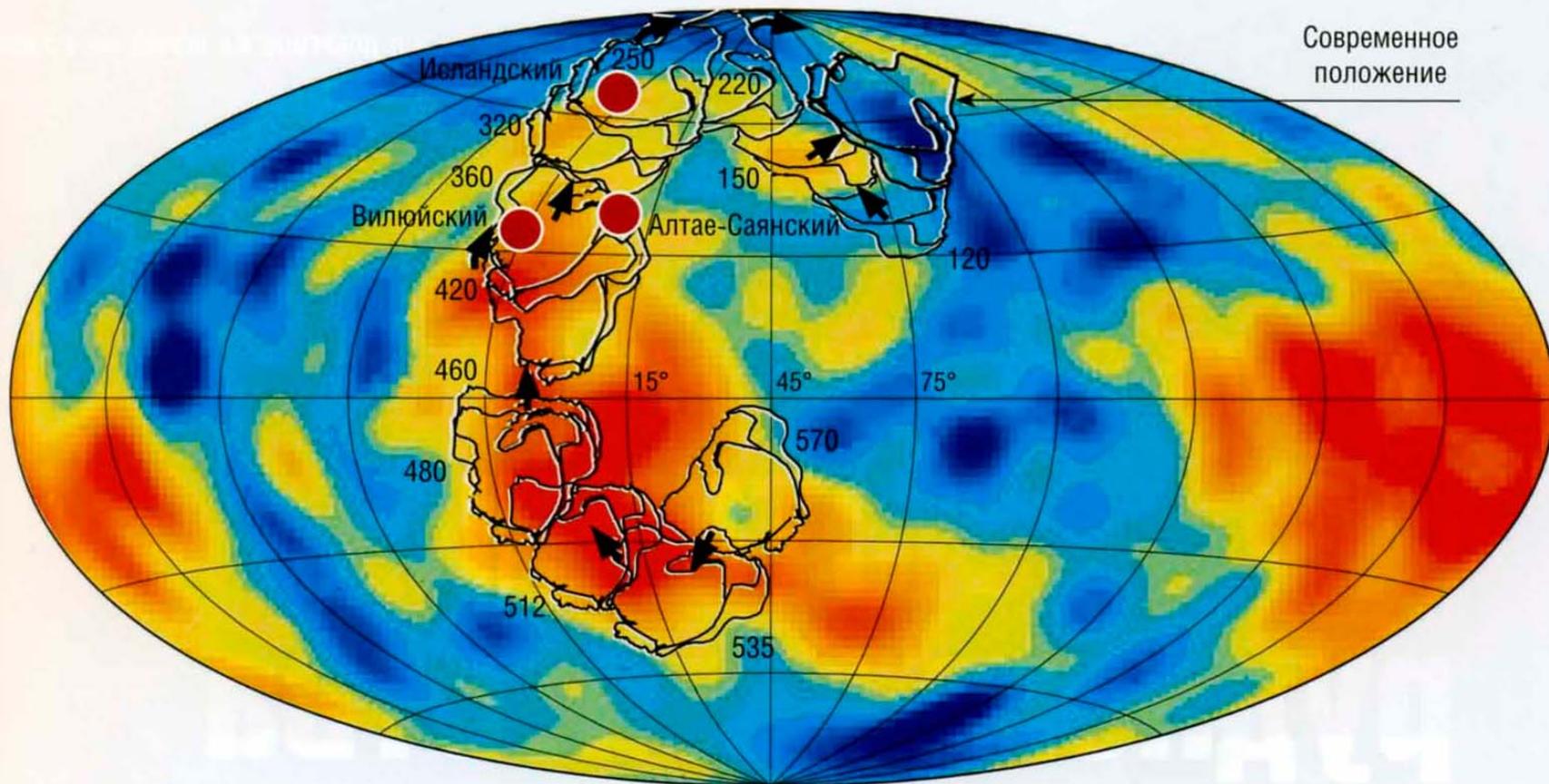
Основные положения по абсолютным палеорекострукциям Сибирского континента в фанерозое

Исландская горячая точка имеет координаты 65° N – 342° E.

Пермтриассовая палеоширота средней точки поля траппов Сибири – $62^{\circ} \pm 7$ N, согласуется с современным положением Исландии.

Предположение: Большую часть фанерозоя Сибирский континент дрейфовал в пределах Афро-Атлантического (Центрально-Азиатского) горячего поля мантии. Ограничение по меридиану 330 E – 70 E.

Для выбора палеопозиции Сибирского континента в фанерозое использовались: кажущаяся троектория миграции полюса Сибири для Pz-Cocks, Torsvik (2007); 360-250 млн. лет – Kravchinsky et al., 2002; Pavlov et al., (2007); траекторию для Европы (соответственно для Сибири) от 240 млн. лет до настоящего времени – Besse, Courtillot (2002); Torsvik et al. (2001).

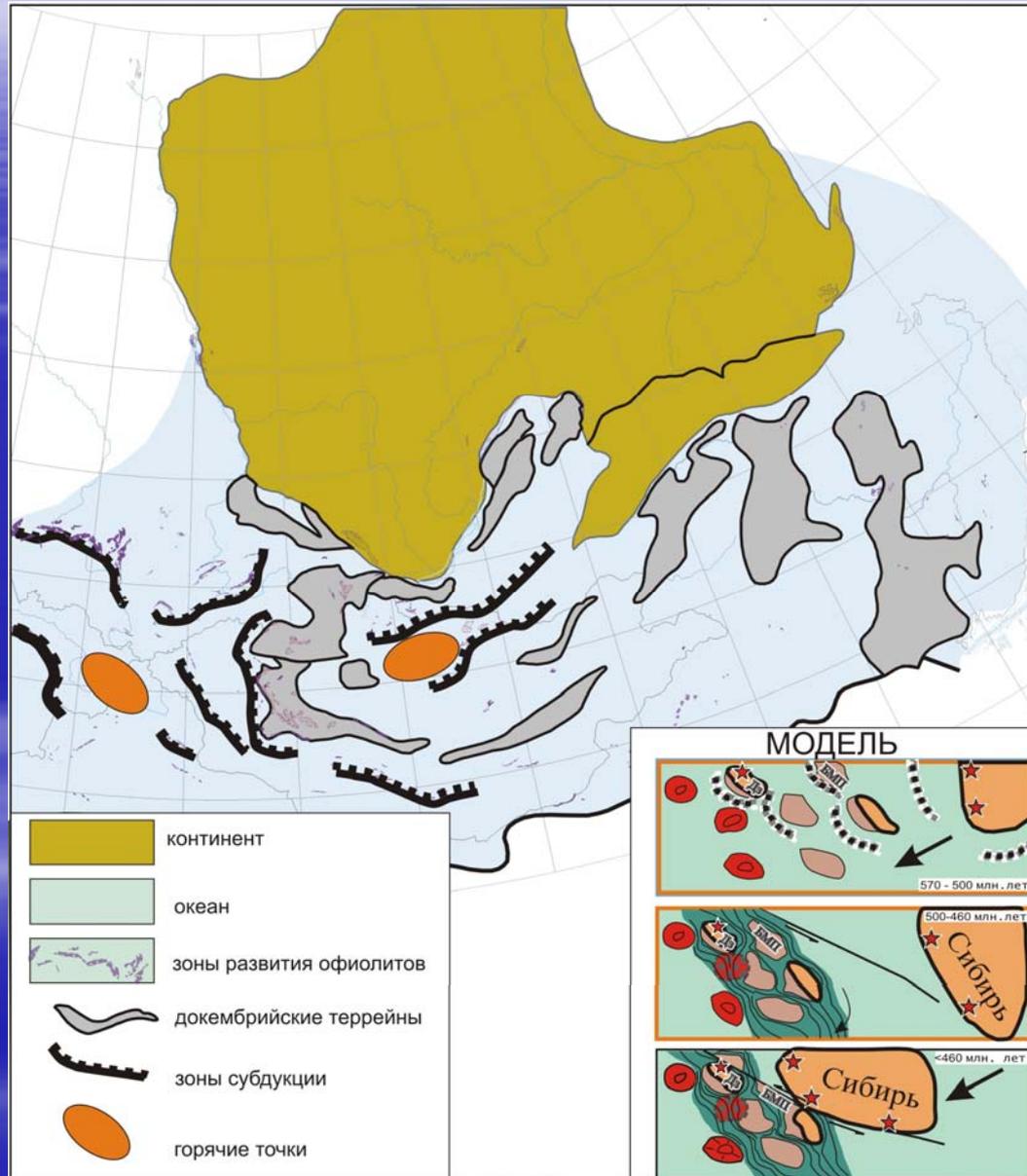


На основе палеорекострукции получена схема миграции Сибирского континента над Африканской мантийной провинцией за последние 570 млн лет.
 По: (Kuzmin et al., 2010)

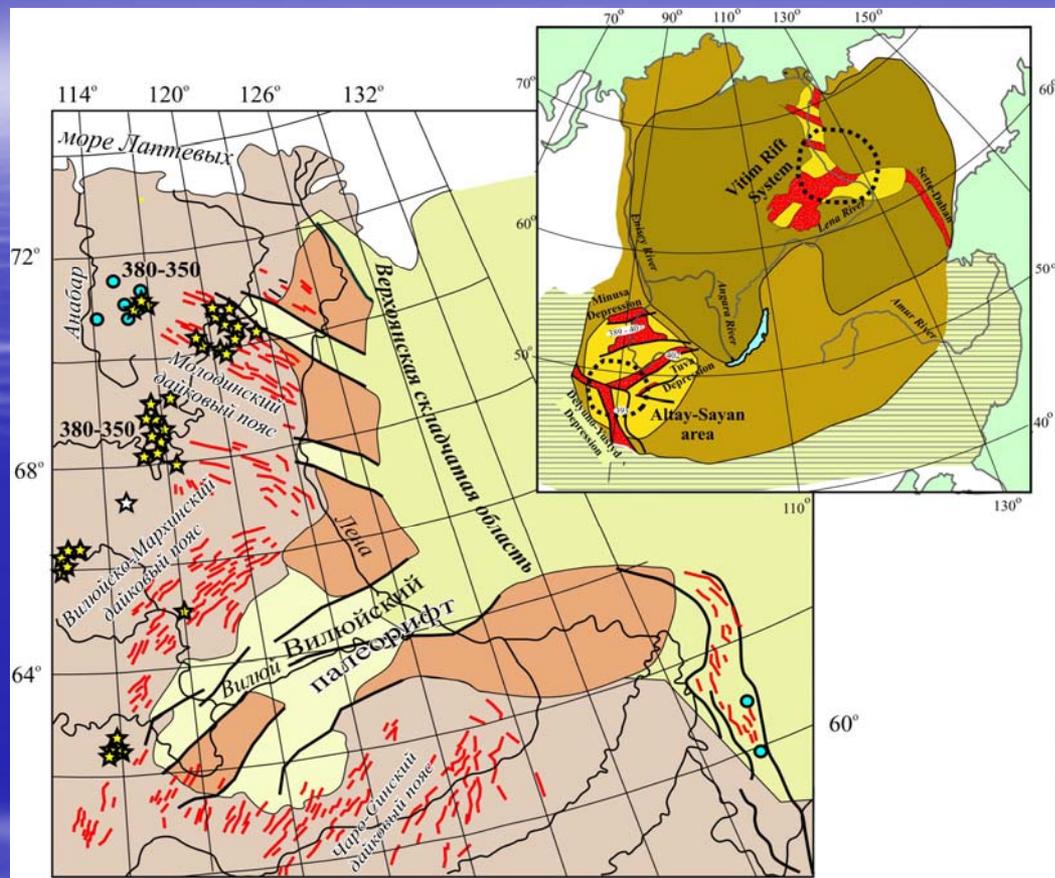
- ➔ Перемещение континента
- 220 Возраст в млн лет, отвечающий положению континента
- Мантийные плюмы

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.

Взаимодействие Сибирского континента с Алтае-Саянской горячей точкой.



Эпохи девонского внутриплитового магматизма



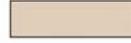
Дайки



Кимберлиты



Грабены



Платформа



Щелочные ультраосновные породы и карбонатиты



Разломы



Реликты палеосвода



Верхоянская СО

380 - 350

Цифры возраст в млн. лет

Реконструкция больших изверженных провинций и кимберлитов за последние 320 млн. лет в связи низкоскоростной аномалии в мантии.

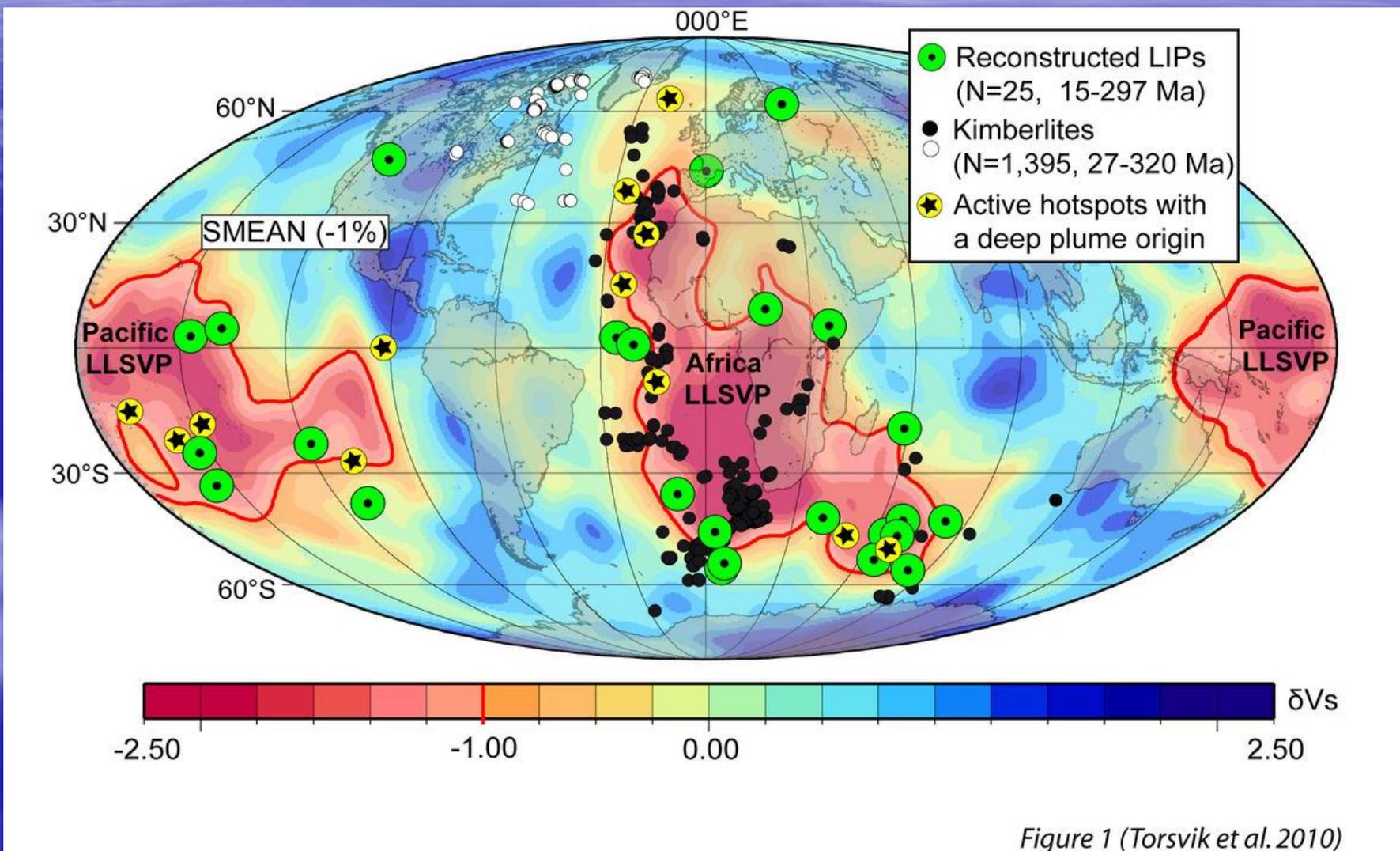
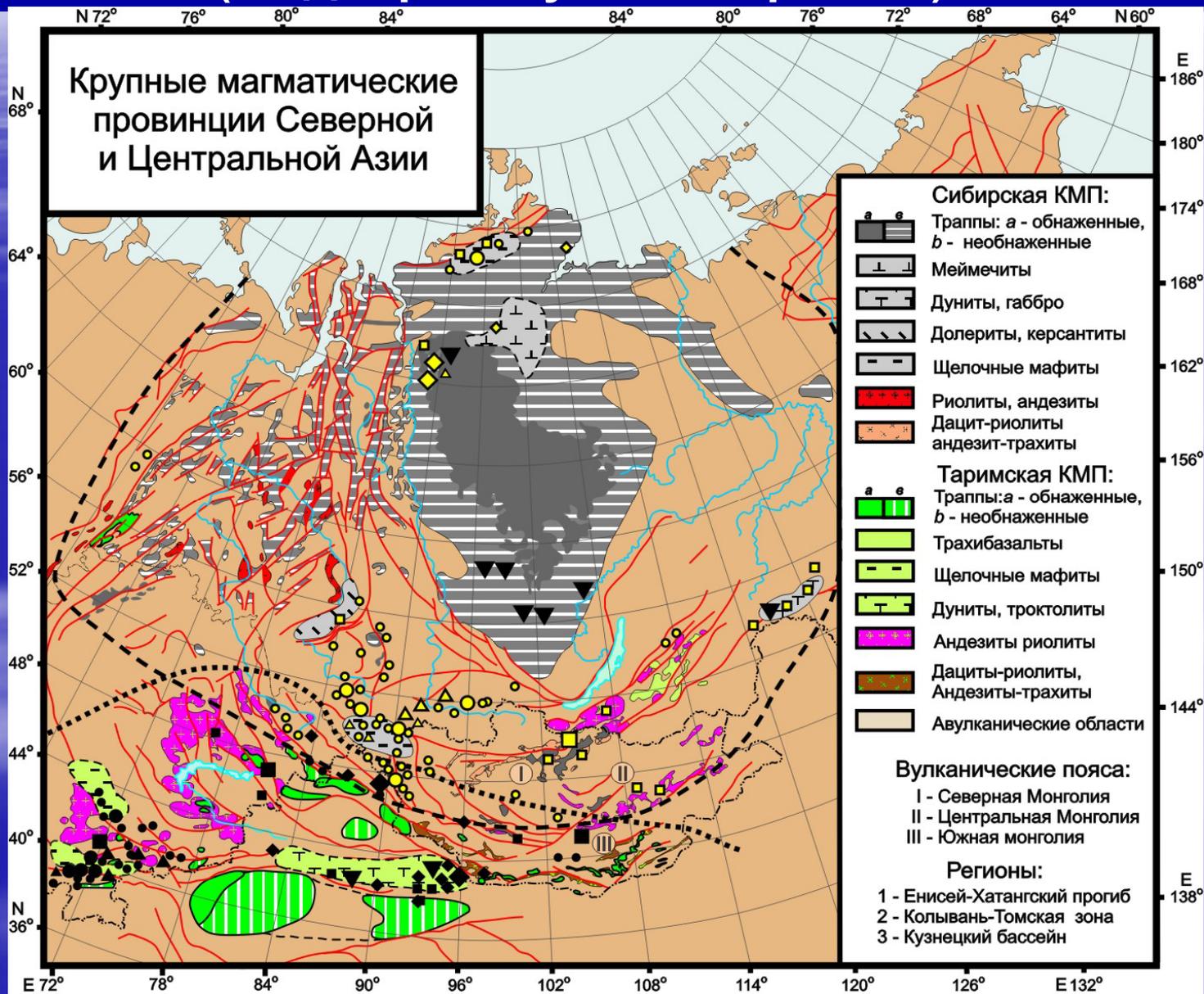


Figure 1 (Torsvik et al. 2010)

Крупные магматические провинции пермского (Таримский плюм) и триасового (Сибирский плюм) возраста (по Добрецову Н.Л. и др. 2010)



Месторождения связанные с Сибирским и Таримским плюмами (по Добрецову и др., 2010)

Месторождения Сибирской КМП

Sb-Hg, Au-Hg, Ag-Sb мест-ния

○ >5000 t. Hg ○ <5000 t. Hg
>100 t. Au <100 t. Au

Ni-Co-As мест-ния

△ >10000 t. Co △ <10000 t. Co

Cu-Mo-порфровые мест-ния

■ >1 Mt. Cu ■ <1 Mt. Cu

Cu-Ni-Pt мест-ния

◆ >1 Mt. Cu ◆ <1 Mt. Cu

Месторождения Таримской КМП

Sb-Hg, Au-Hg, Ag-Sb мест-ния

● >5000 t. Hg ● <5000 t. Hg
>100 t. Au <100 t. Au

Ni-Co-As мест-ния

▲ >10000 t. Co ▲ <10000 t. Co

Cu-Mo-порфировые мест-ния

■ >1 Mt. Cu ■ <1 Mt. Cu

Cu-Ni-Pt мест-ния

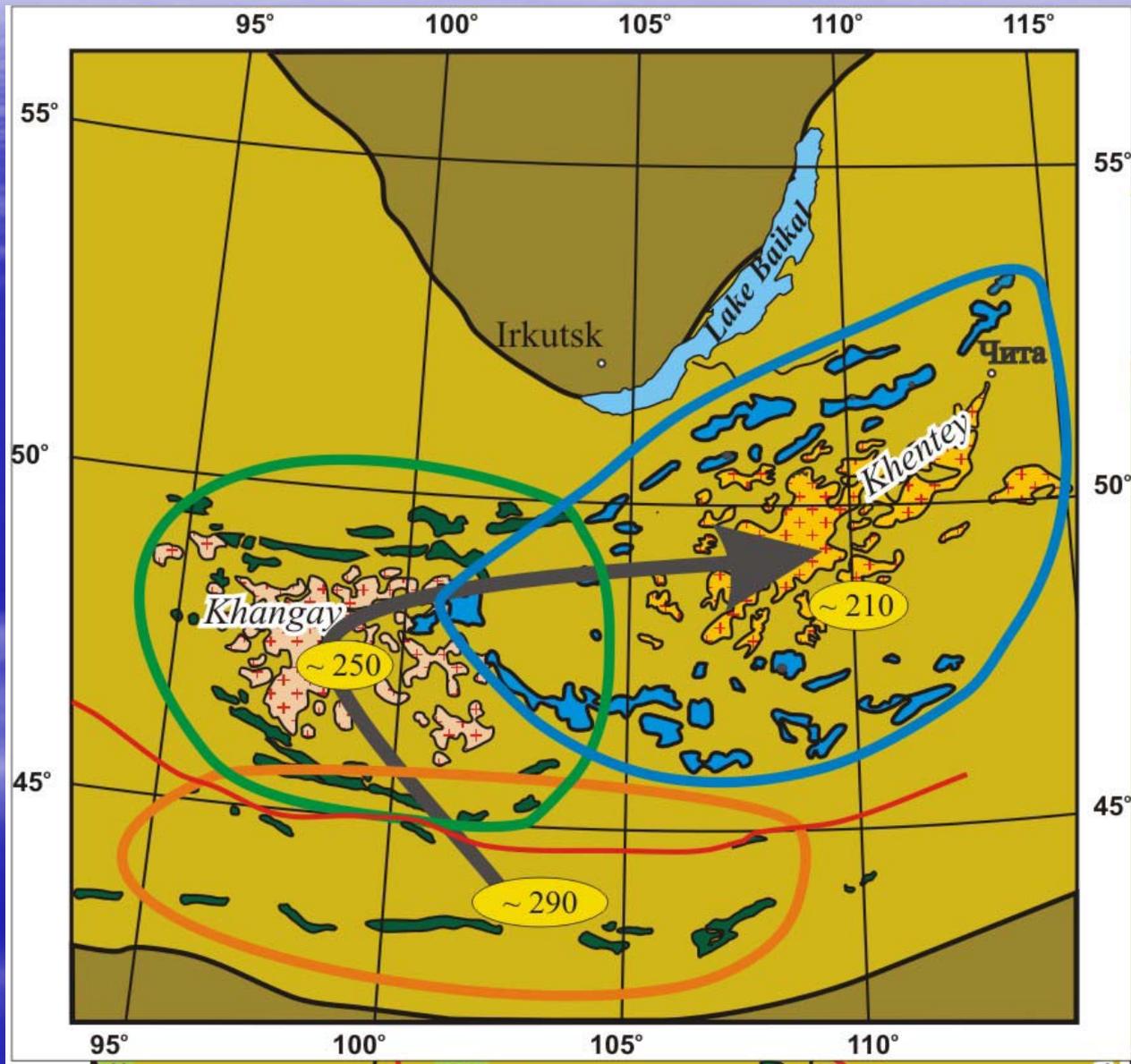
◆ >1 Mt. Cu ◆ <1 Mt. Cu

▼ Fe and Fe-Ti-V мест-ния

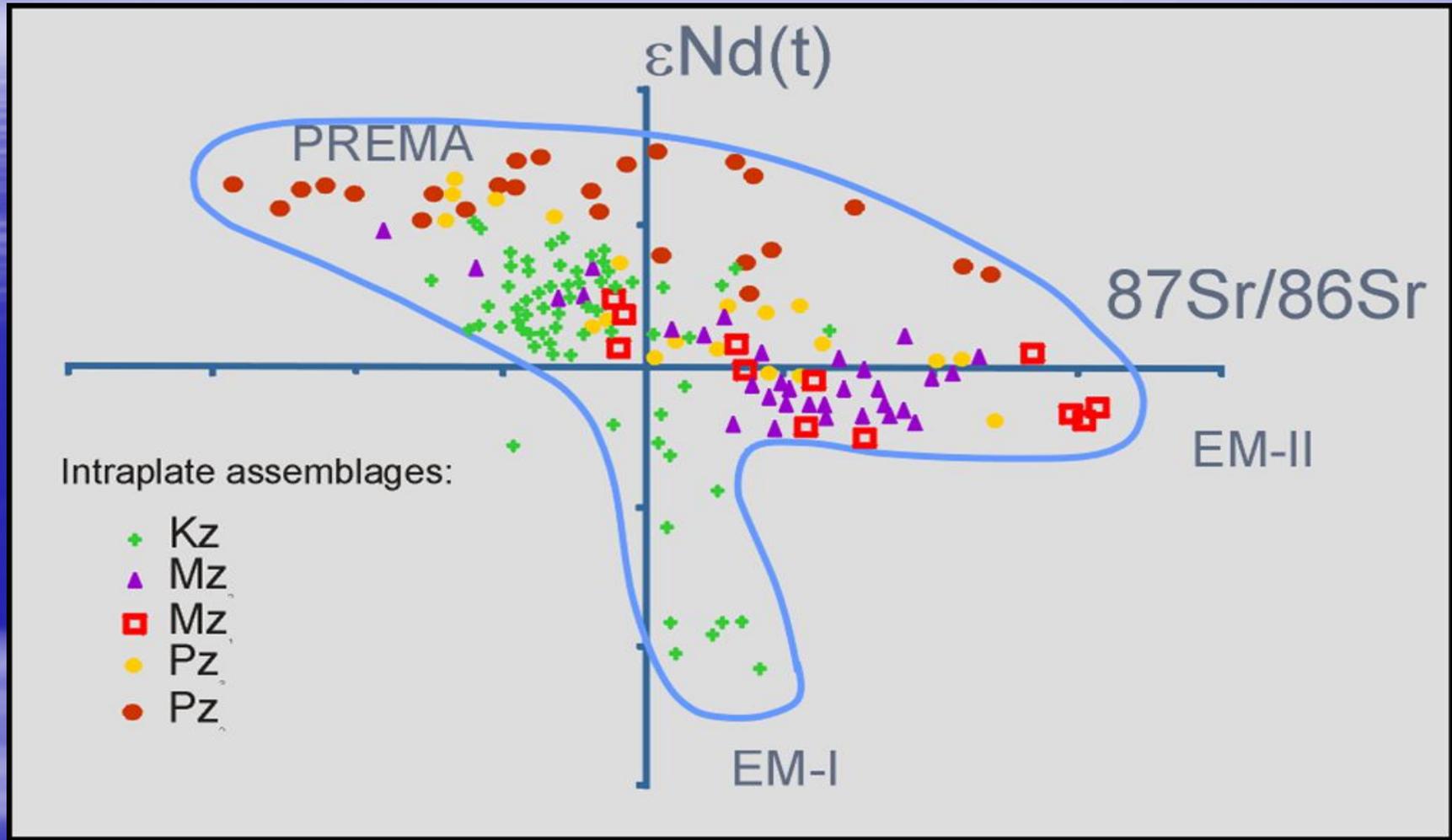


Ареалы ранней пермской (a)
и триасовой (b) минерализации

Магматические провинции и связанные с ними месторождения редких металлов, золота, медно-молибденовые и полиметаллические будут рассмотрены в докладе В.В. Ярмолюка.



Изотопный состав фанерозойских внутриплитовых базальтов Сибирского континента.



Все базальты имеют три мантийных источника: PREMA; EM-II; EM-I. Составы базальтов Pz₁; Pz₂; Mz₁ и Mz₂ отвечают двум источникам PREMA и EM-II. Базальты Mz₁ ближе по составу PREMA. Составы базальтов Kz₁ отвечают источникам PREMA и EM-I. Модельный возраст EM-II – 1,1-1,5 млрд. лет; EM-I – 2,3-2,5 млрд. лет.

Заключение

Образование большого комплекса полезных ископаемых связано с плюмами.

Зарождение плюмов происходит:

- 1) На границе ядро-мантия (слой D"). Источником является PREMA+EM-I;
- 2) в переходной зоне нижняя-верхняя мантия. Источником является PREMA+EM-II, плавление мантийных магм происходит при участии H₂O. Они формируют Au, Pb-Zn, PЗЭ, Nb-Ta, Be, Li месторождения.

В расколе суперконтинентов ведущая роль принадлежит плюмам формирующимся в слое D", которые определяют образование Ni-Cu-Pt, редкометалльных, карбонатитовых месторождений и возможно алмазоносных трубок.

Главным источником металлов в Ni-Cu-Pt месторождениях являются мантийные сульфиды корней литосферы древних (архейских) кратонов, попадающие в мантийные магмы при ее взаимодействии с архейской литосферой.

Анализ геологической истории и металлогении кратонов и их складчатого обрамления необходимо проводить с позиции тектоники плит и глубинной геодинамики.

Понимание процессов тектоники плит (а также тектоники плюмов) будет способствовать опознаванию древних тектонических обстановок, каждая из которых характеризуется специфичными рудными

потенциалами

A. Mitchell

M.Garson

- **Understanding of plate tectonics (as well as plume tectonics) will contribute to identifying ancient tectonic settings; each of the settings demonstrates specific ore potentials**
 - **A. Mitchell**
M.Garson

Спасибо за внимание!

20 12:26