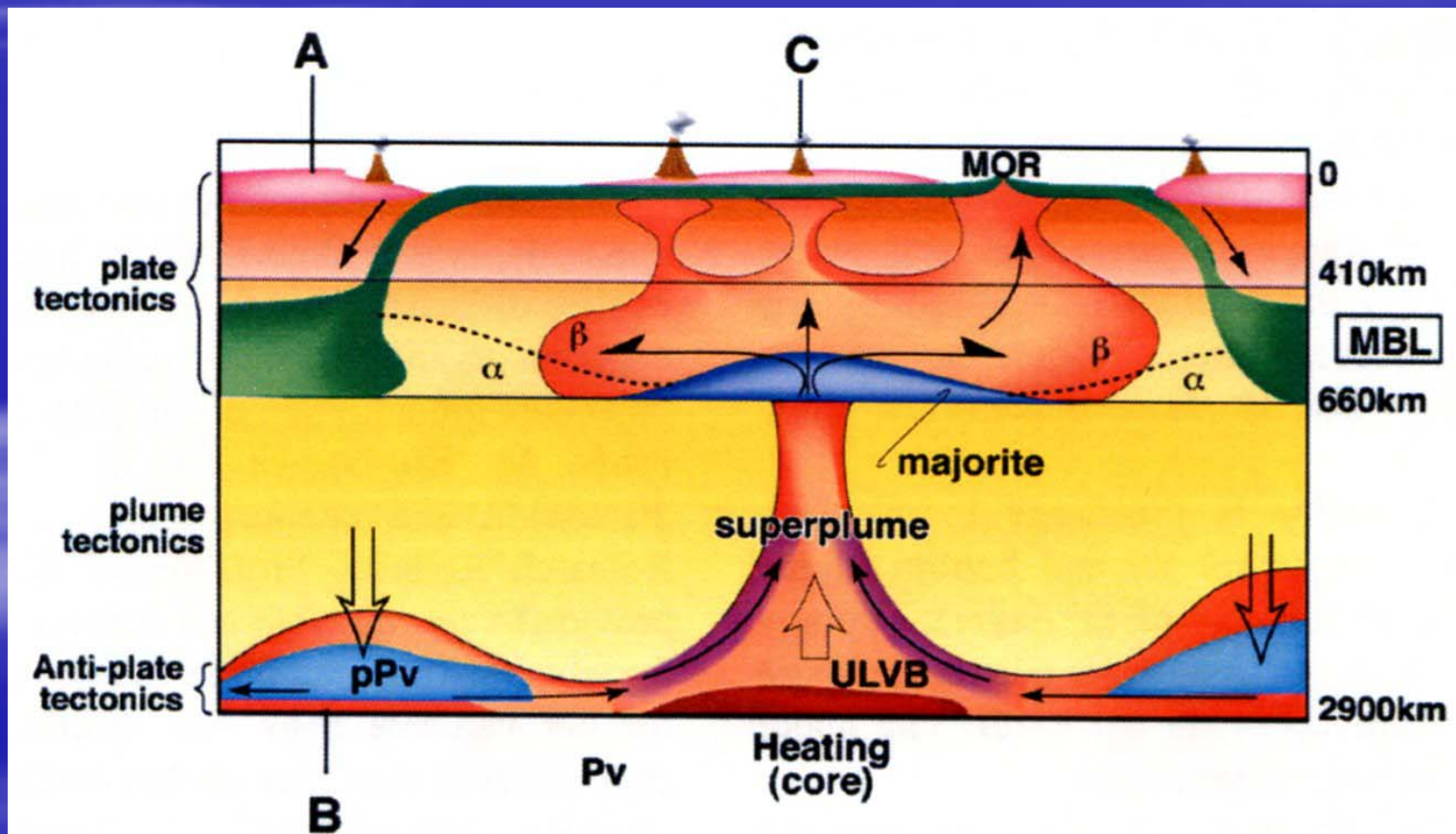


Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В.

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.

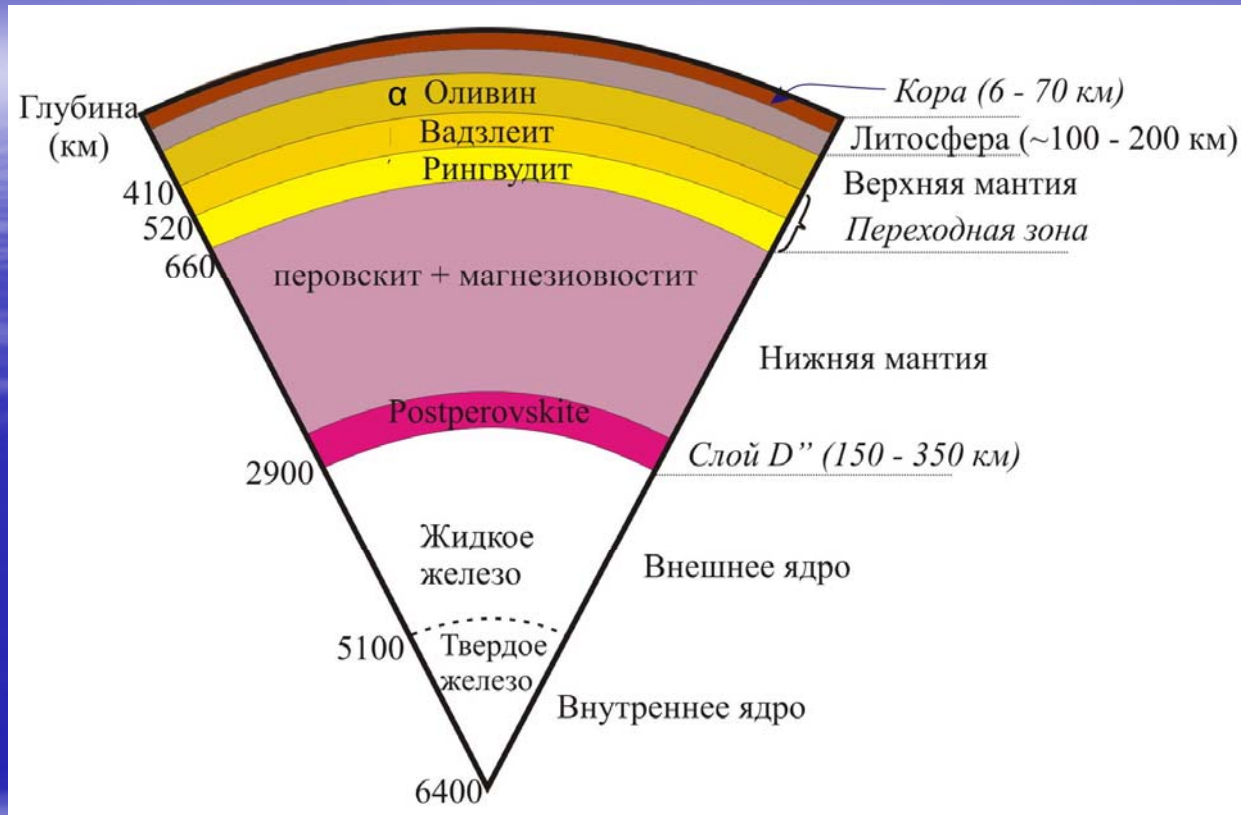
Поверхность Мохоровича являющаяся подошвой земной коры установлена в 1909 году. Г. Джеффрис и Б. Гутенберг в начале XX века ввели понятие о трехчленном разделении Земли: ядро, мантия, земная кора.

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

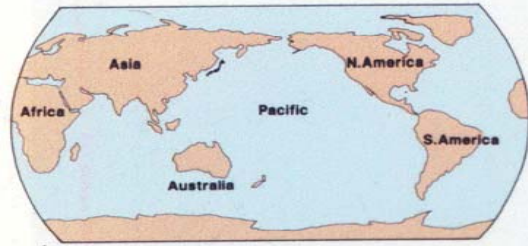
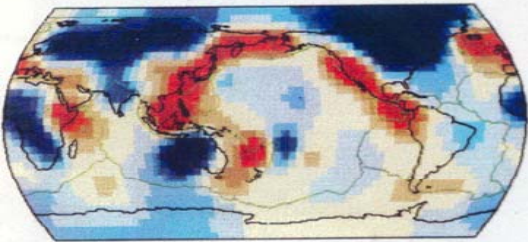


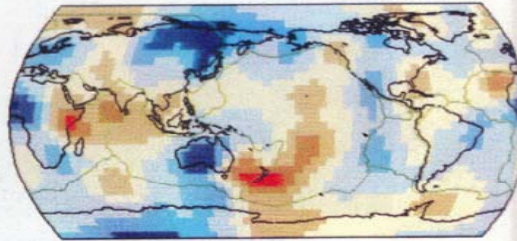
Fig. 16. Journey to the interior of the Earth. High-resolution images of the Earth's interior obtained by seismic tomography. Smoothed seismic velocity perturbation maps of fourteen layers in a depth ranges 78.1 to 2900 km. The scale ranges from -1% (blue) to +1% (red). Although the outer layer of the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

Slow +1.0% — —1.0% Fast

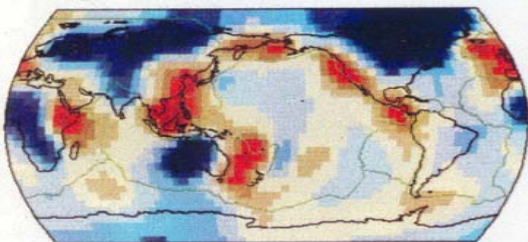
78.1 – 147.7 km



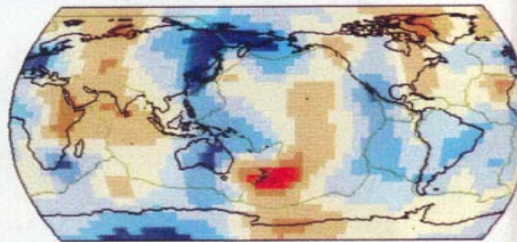
347.7 – 478.1 km



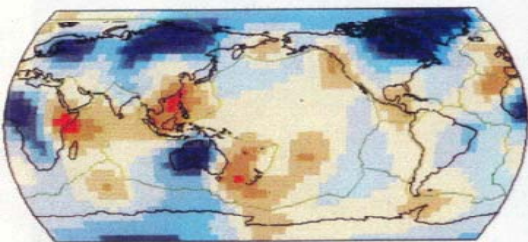
147.7 – 237.5 km



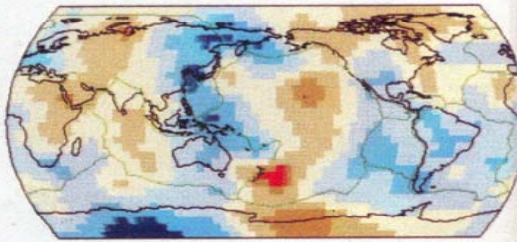
478.1 – 628.9 km



237.5 – 347.7 km

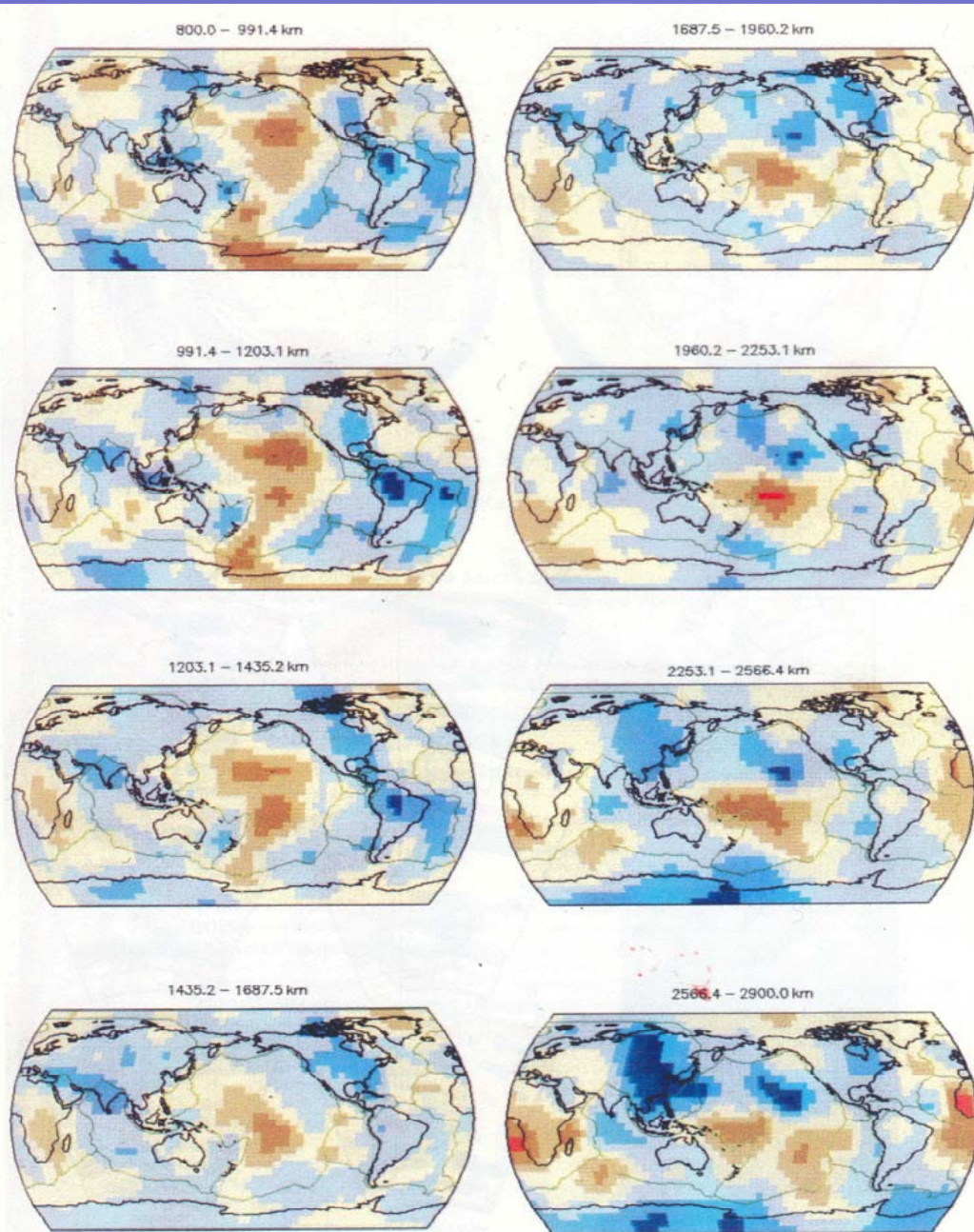


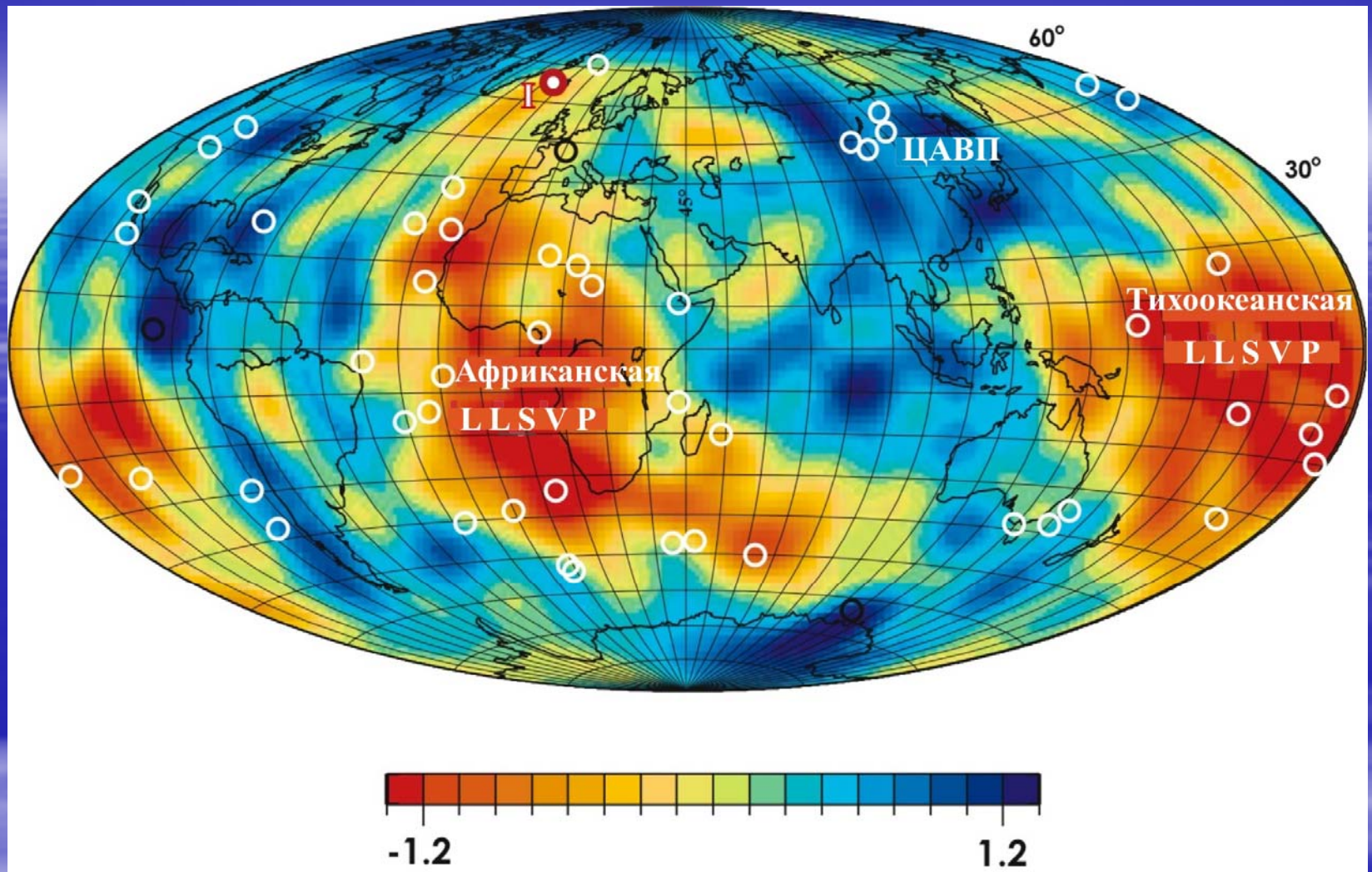
628.9 – 800.0 km



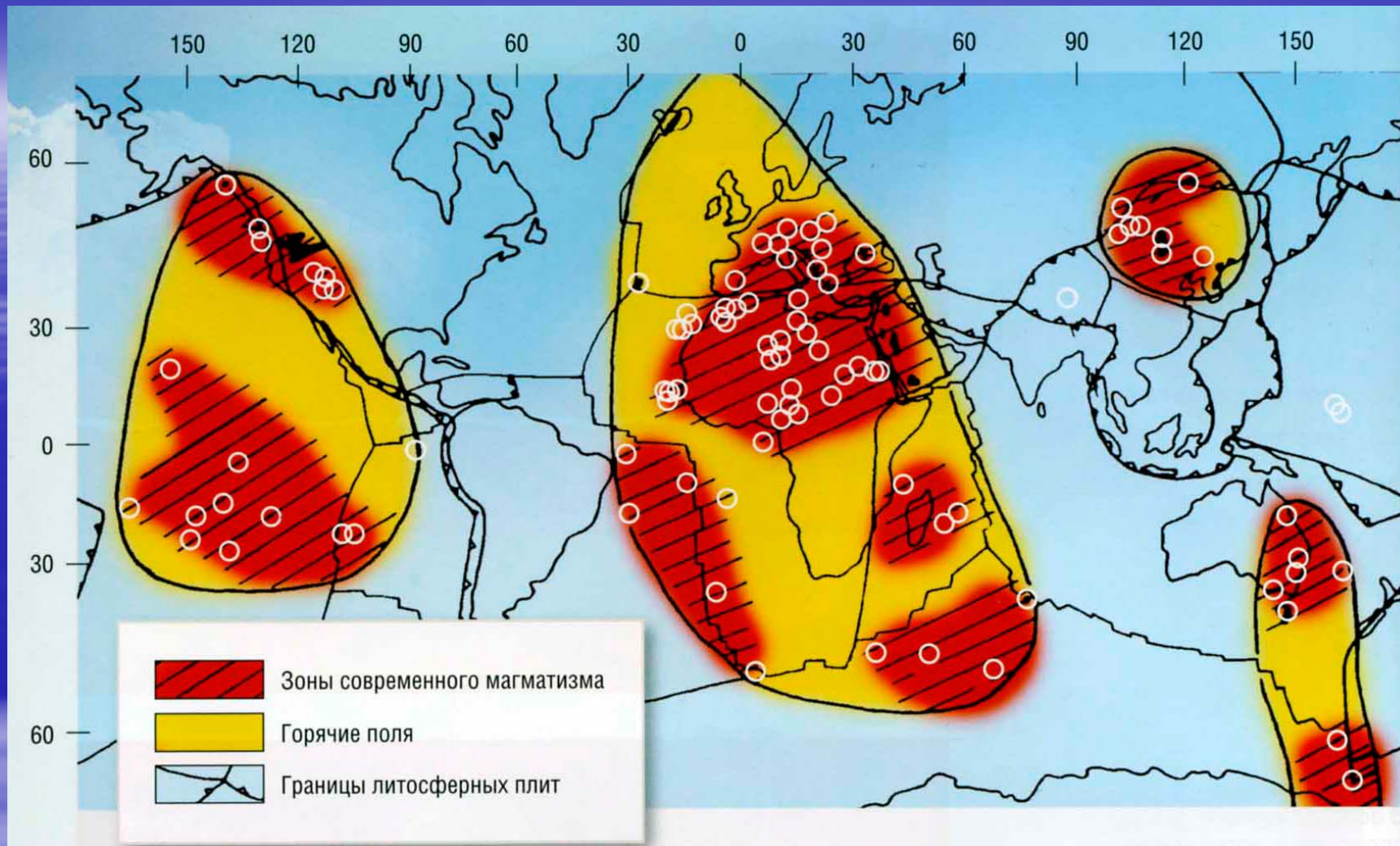
В начале 80-тых годов А. Дзевонский по данным сейсмофотографии выделил горячие (меньшие скорости сейсмических волн и LLSVP (Large Low Shear Velocity Province) и холодные (высокие скорости) поля мантии.

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.

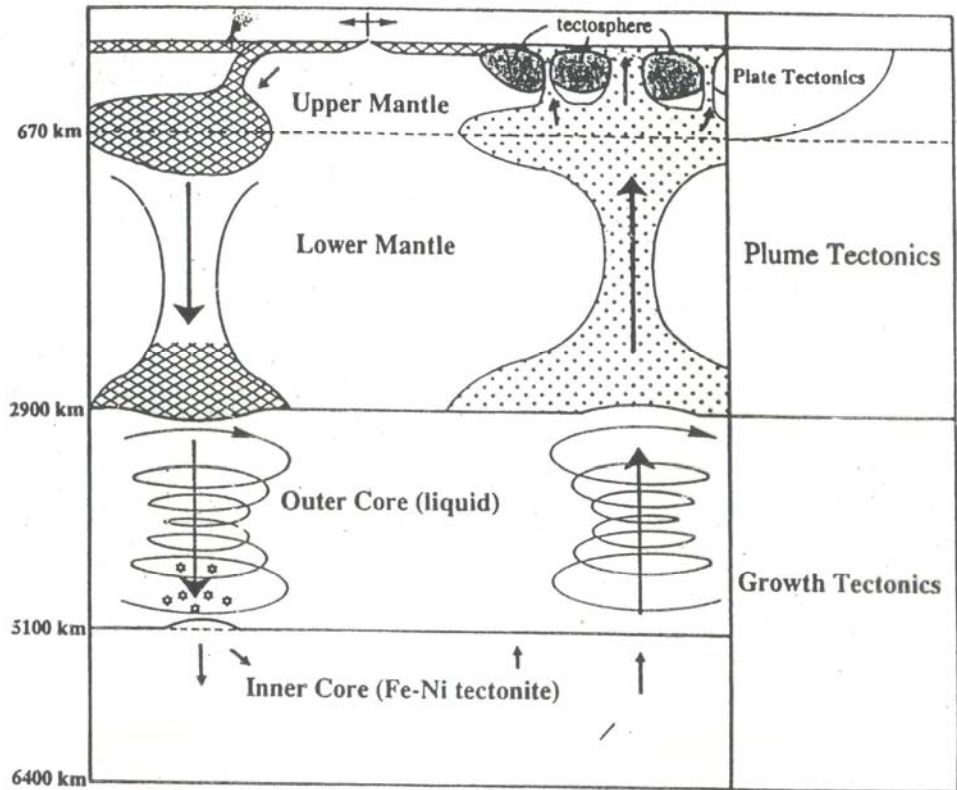
Л.П. Зоненшайн, 25.X.1991

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

К новой парадигме

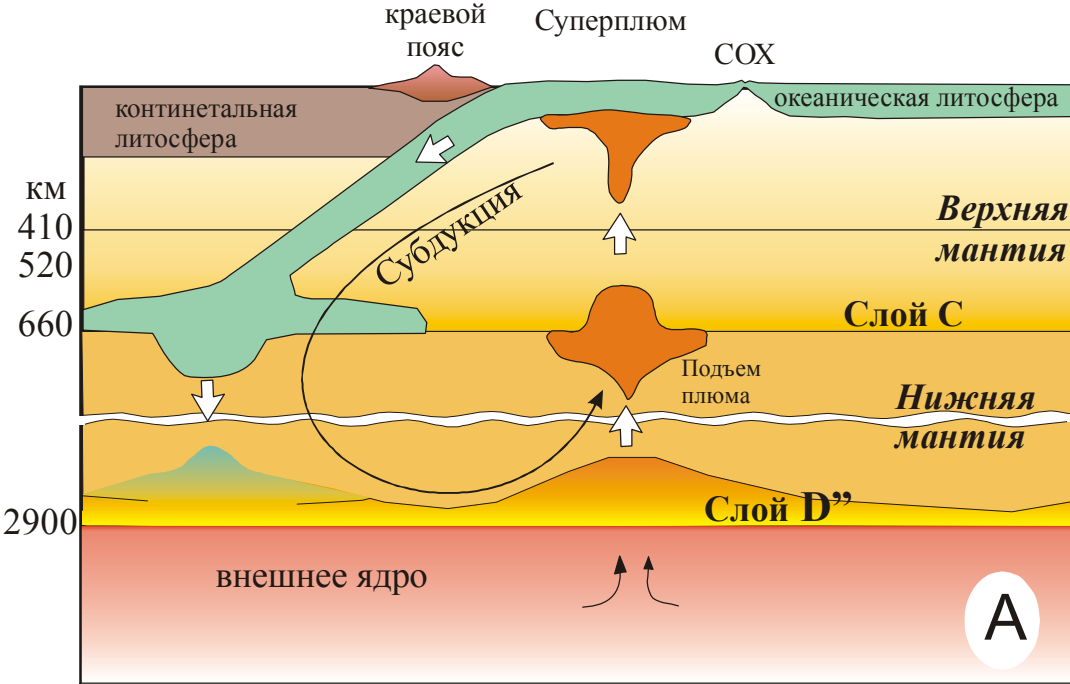
Jour. Geol. Soc. Japan, 100 (1)

Towards a new paradigm



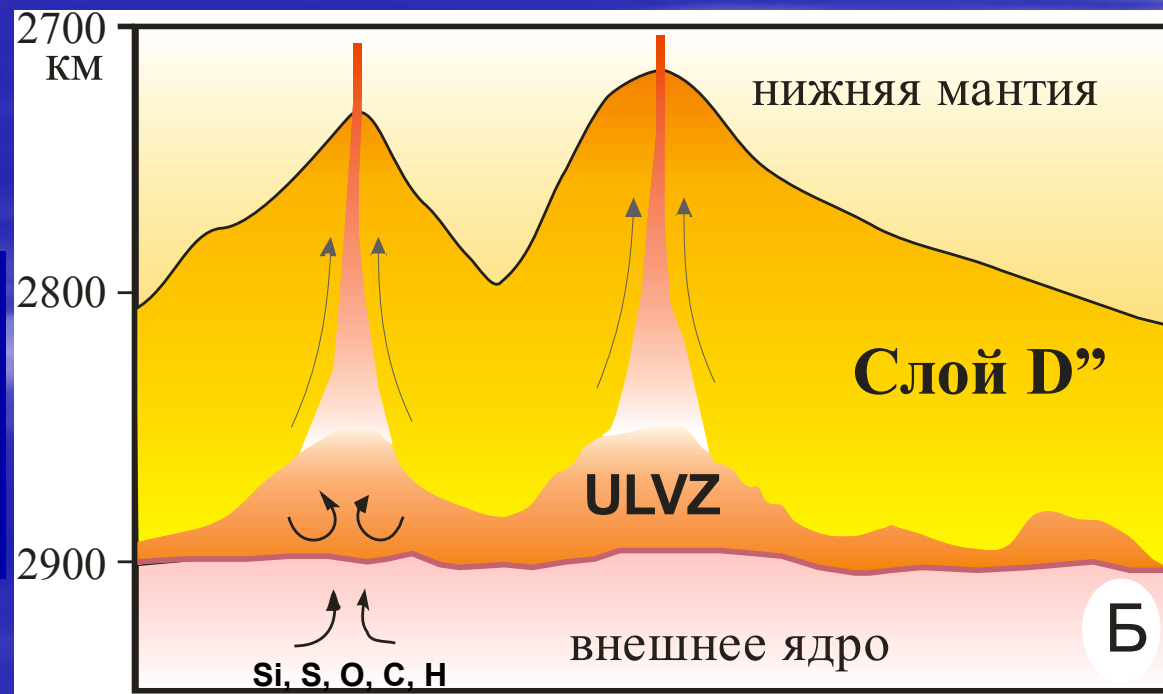
Важными для дальнейших построений являются два факта

- 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.

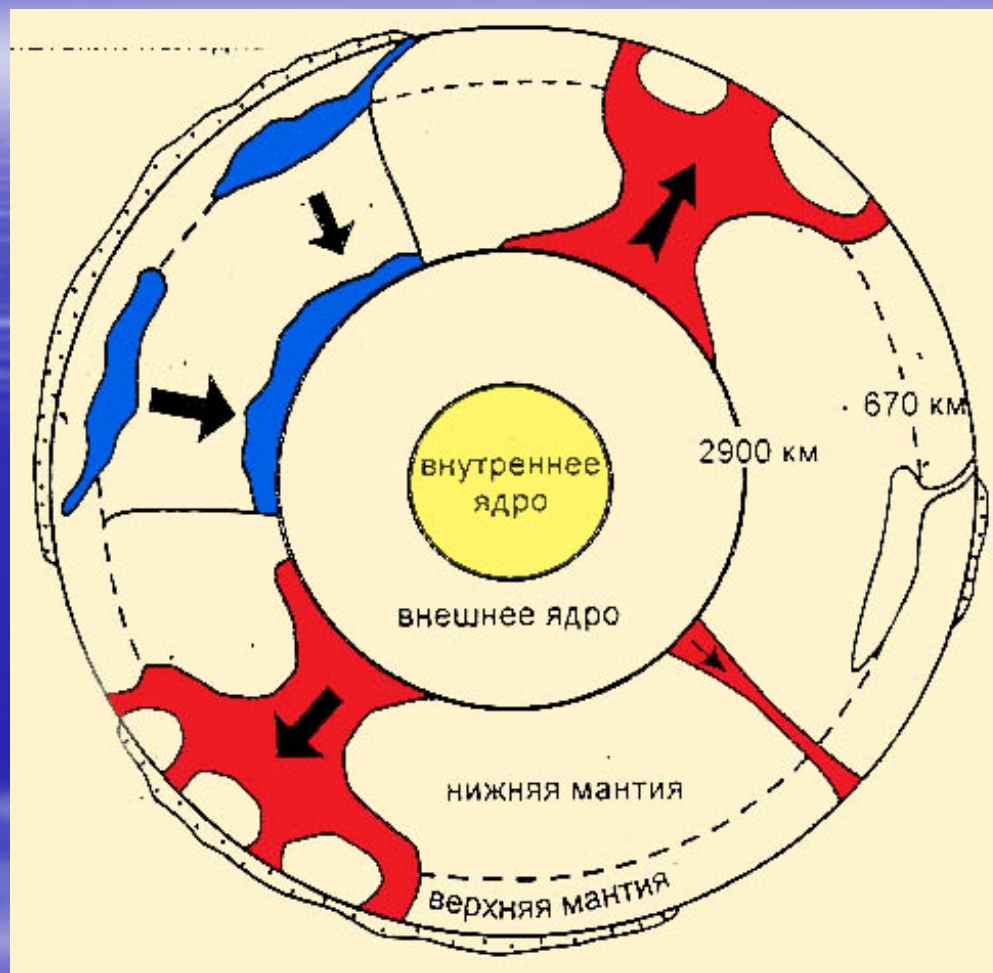


В начале XXI века было установлено [Zhao, 2001; 2007; Fukao et al., 2009], что субдуцированные плиты могут опускаться до переходной зоны нижней – верхней мантии, где стагнируется большая часть плит.

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



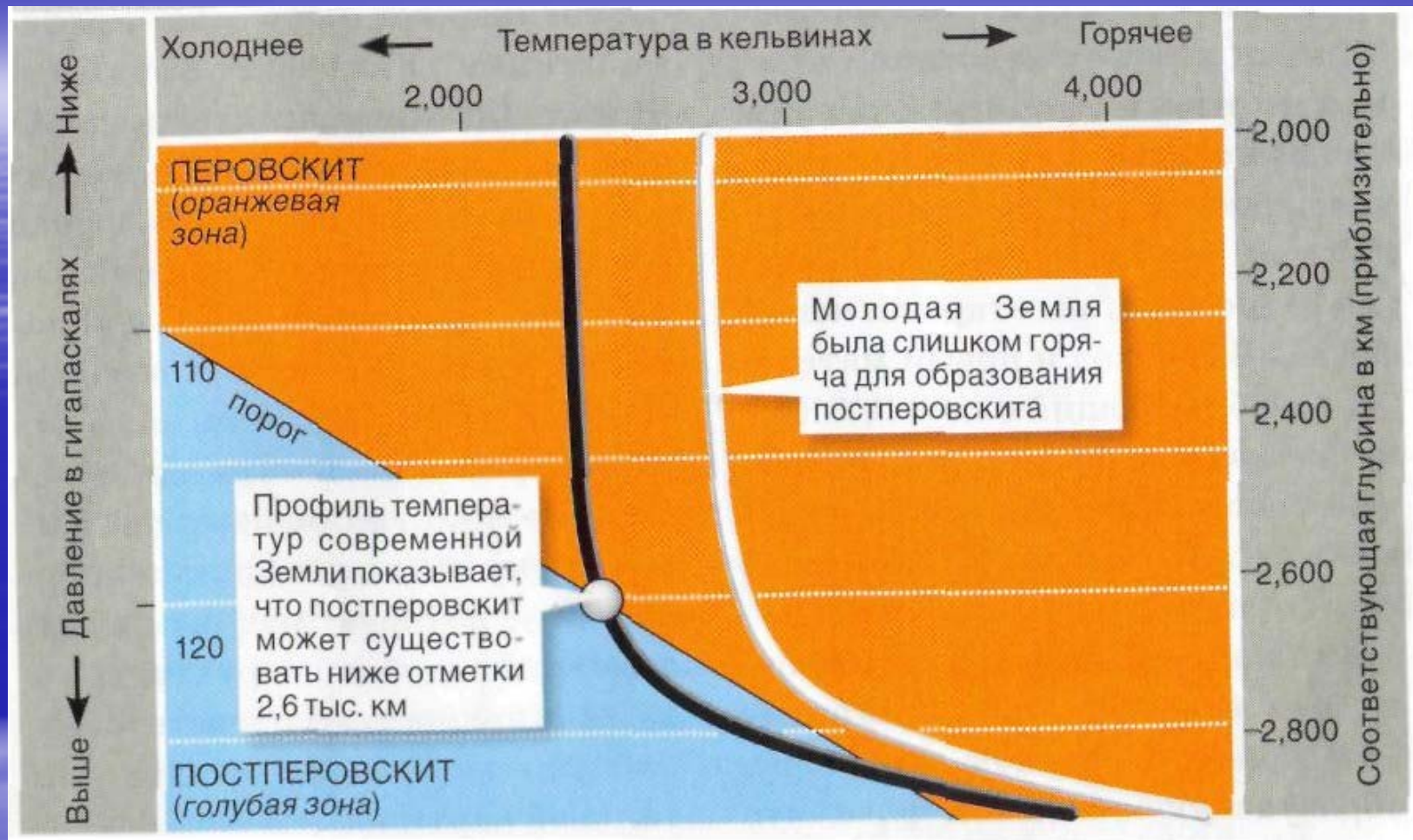
Модель вещественной и тепловой конвекции в современной Земле по (Maruyama et al., 1994)



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.

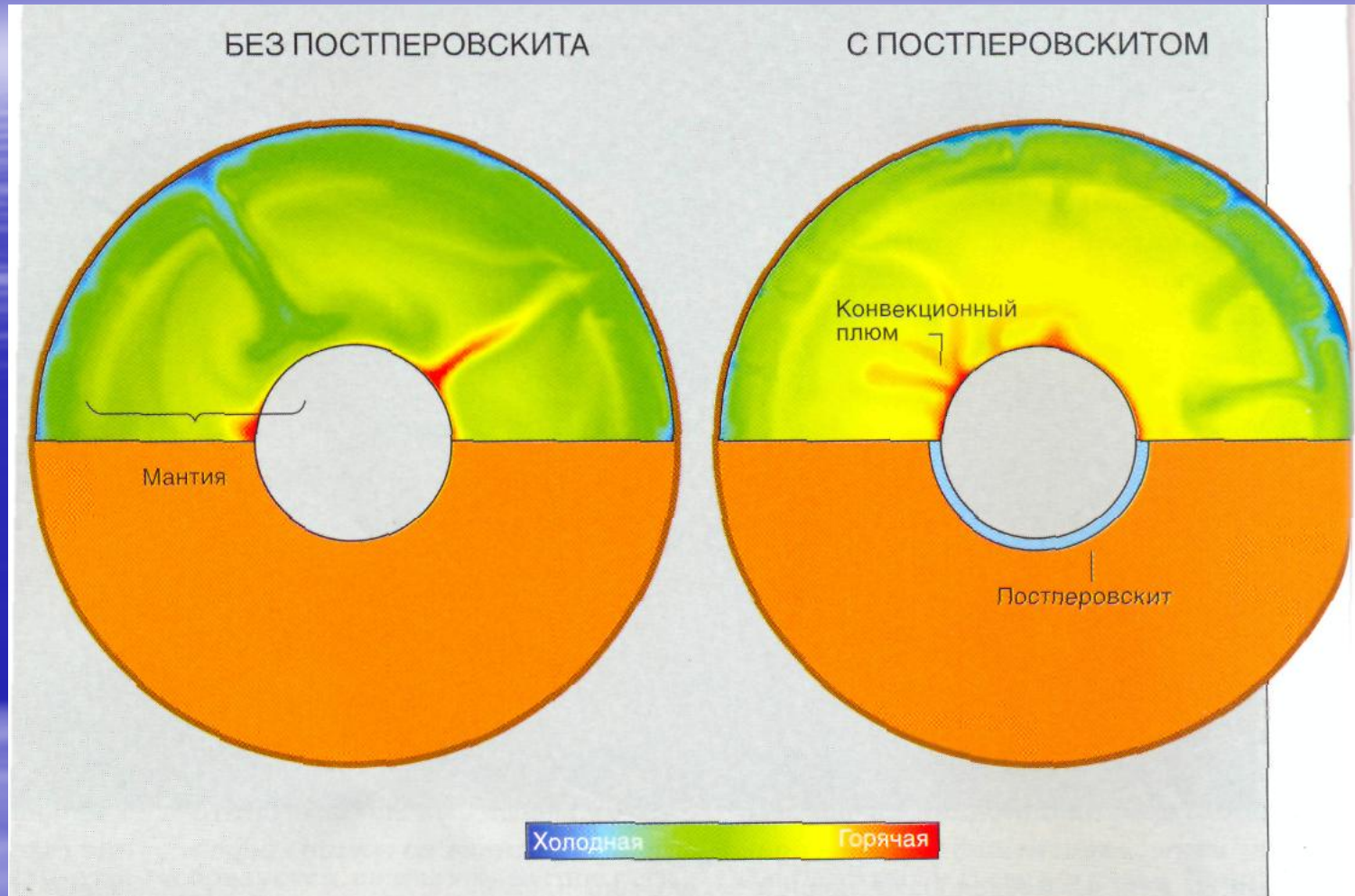
Когда начал формироваться постперовскит в Земле



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).

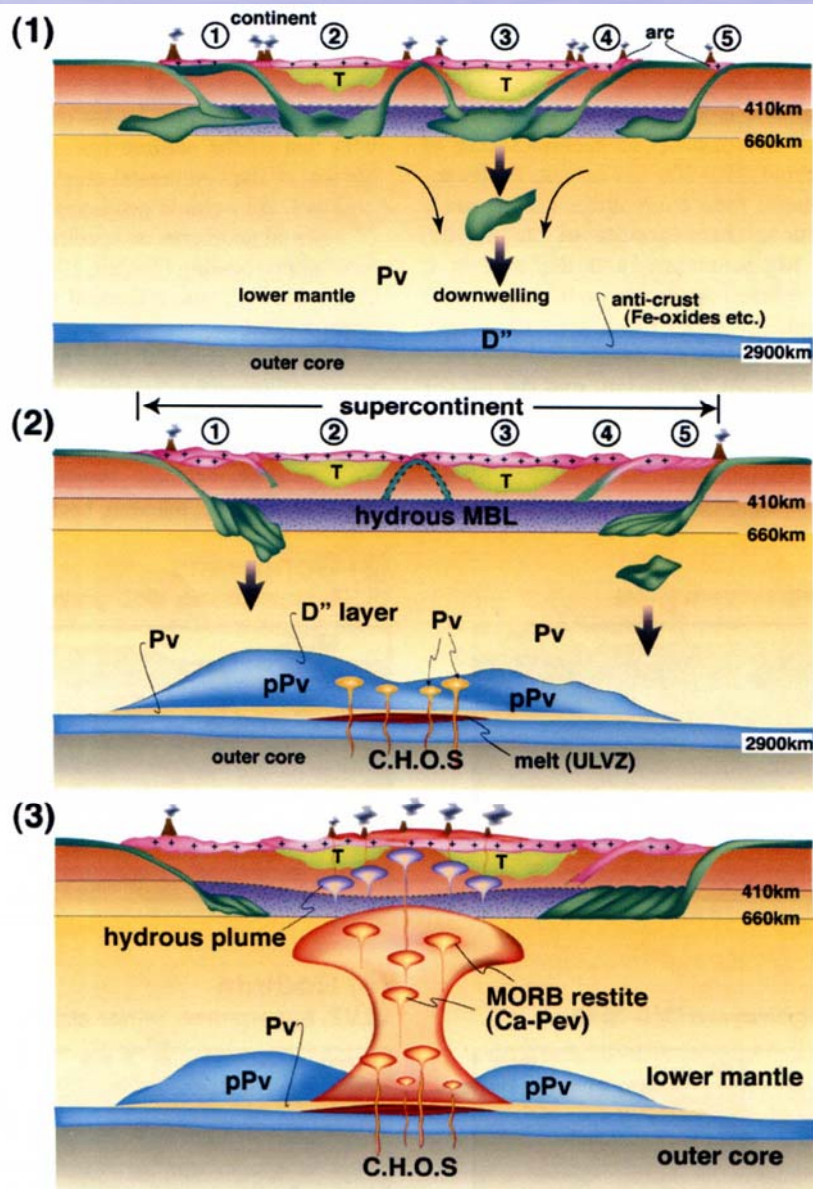
Конвекция в мантии без постперовскита с постперовскитом (по К. Хиросе, 2010)



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)

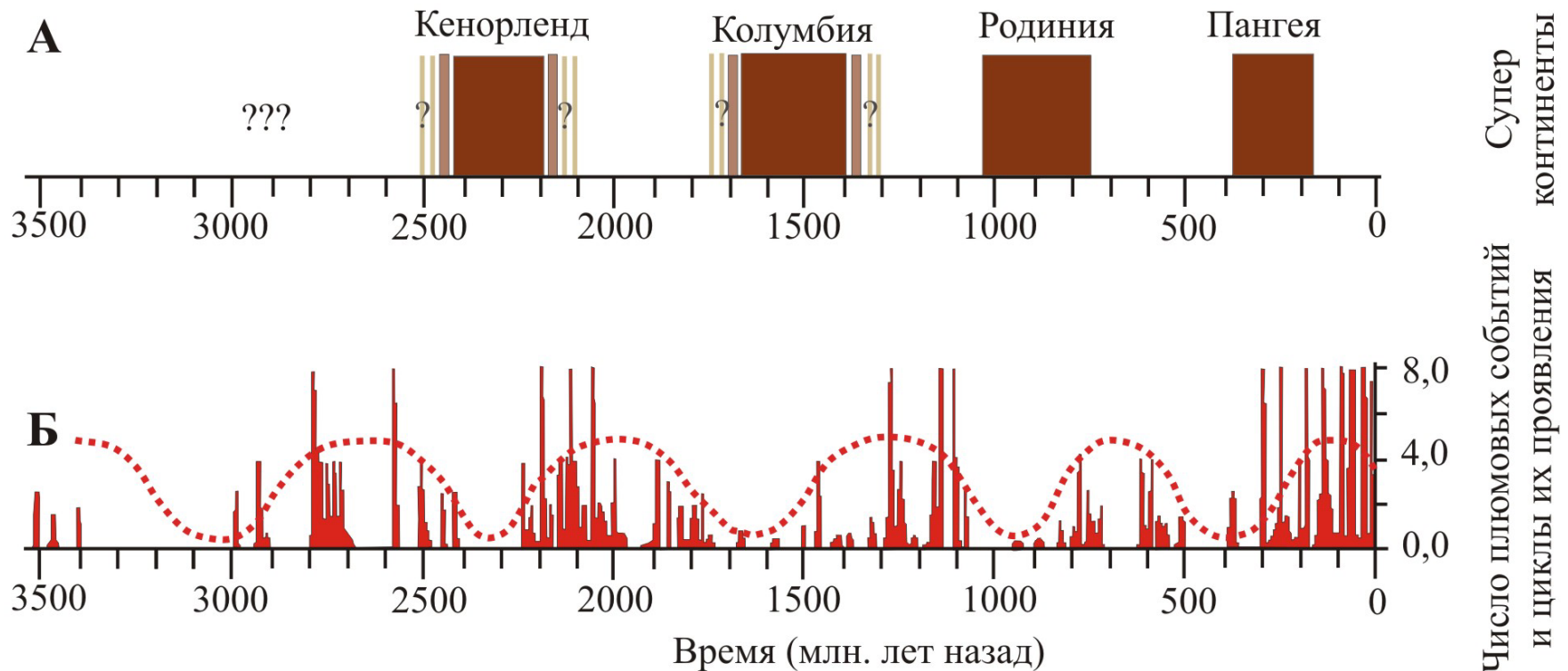


1. Формирование суперконтинента.

2. Аккумуляция плит под суперконтинентом. Захоронение плит формирующим 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.

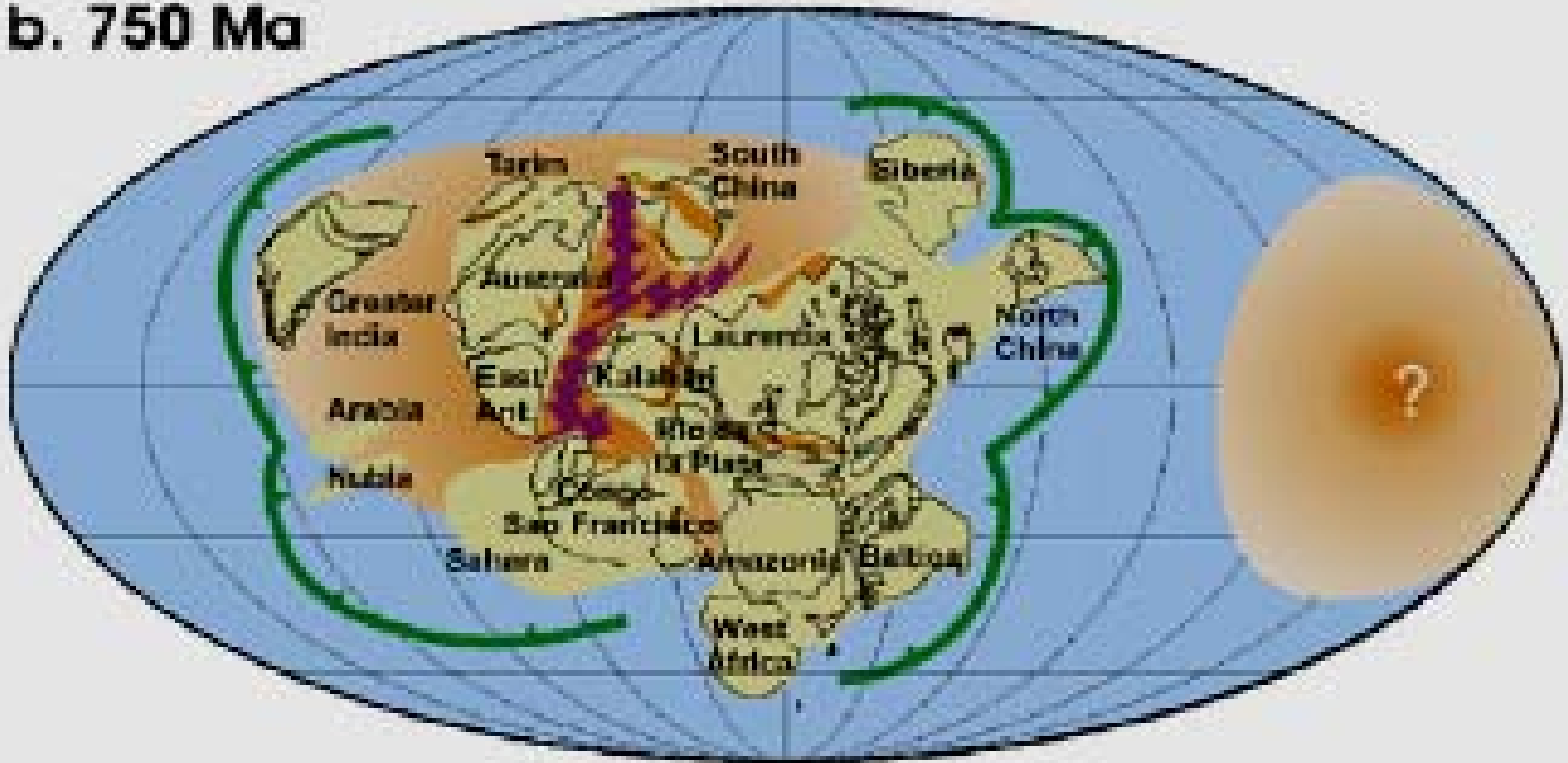
Взаимодействие суперконтинентов и плюмов.



Наиболее хорошо реконструированы истории суперконтинентов Родиния и Пангея.

История суперконтинента Rodinia

b. 750 Ma

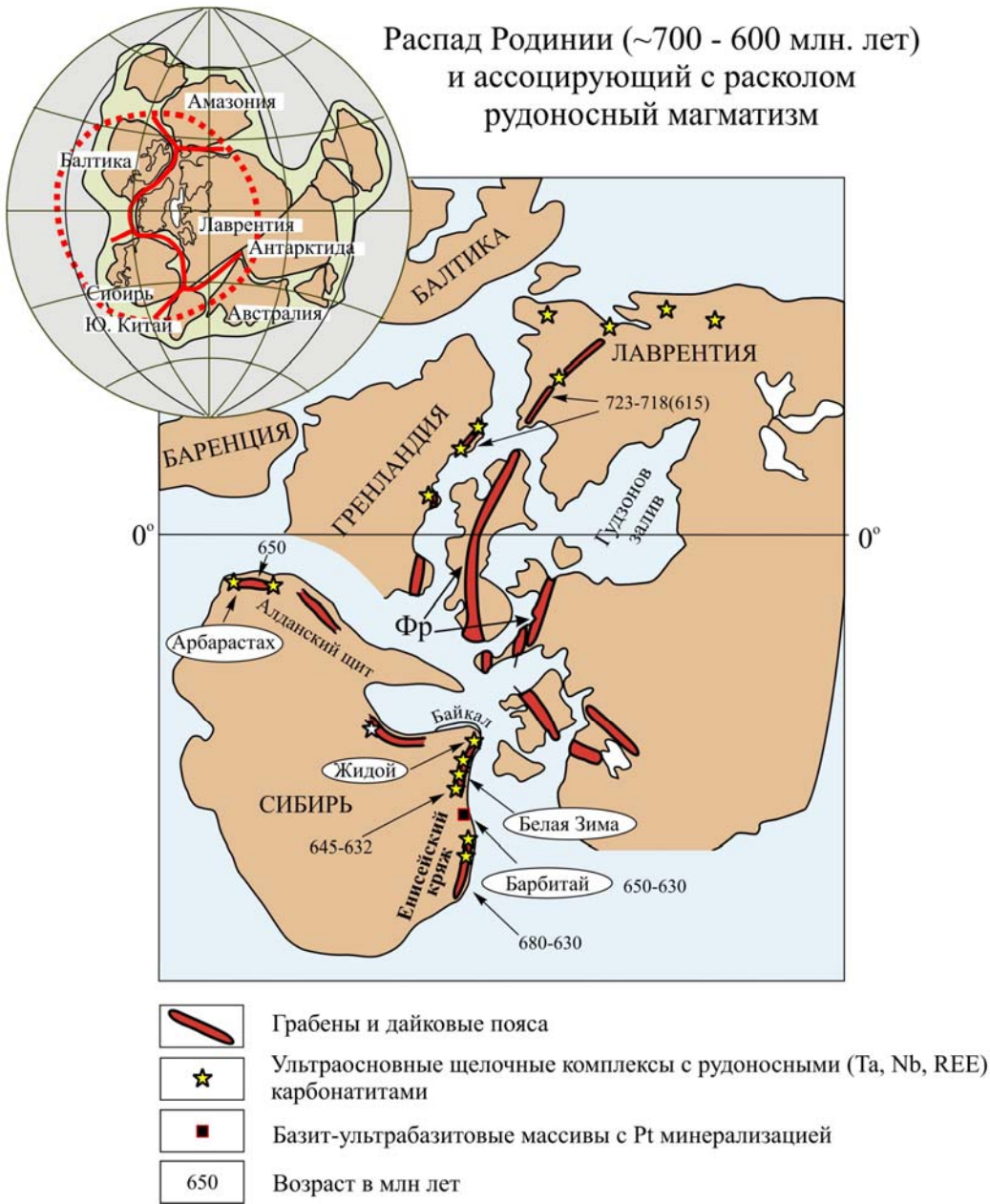


Суперконтинент Rodinia сформировался 1 млрд. лет тому назад.

Начал раскалываться суперплюмом 750 млн. лет.

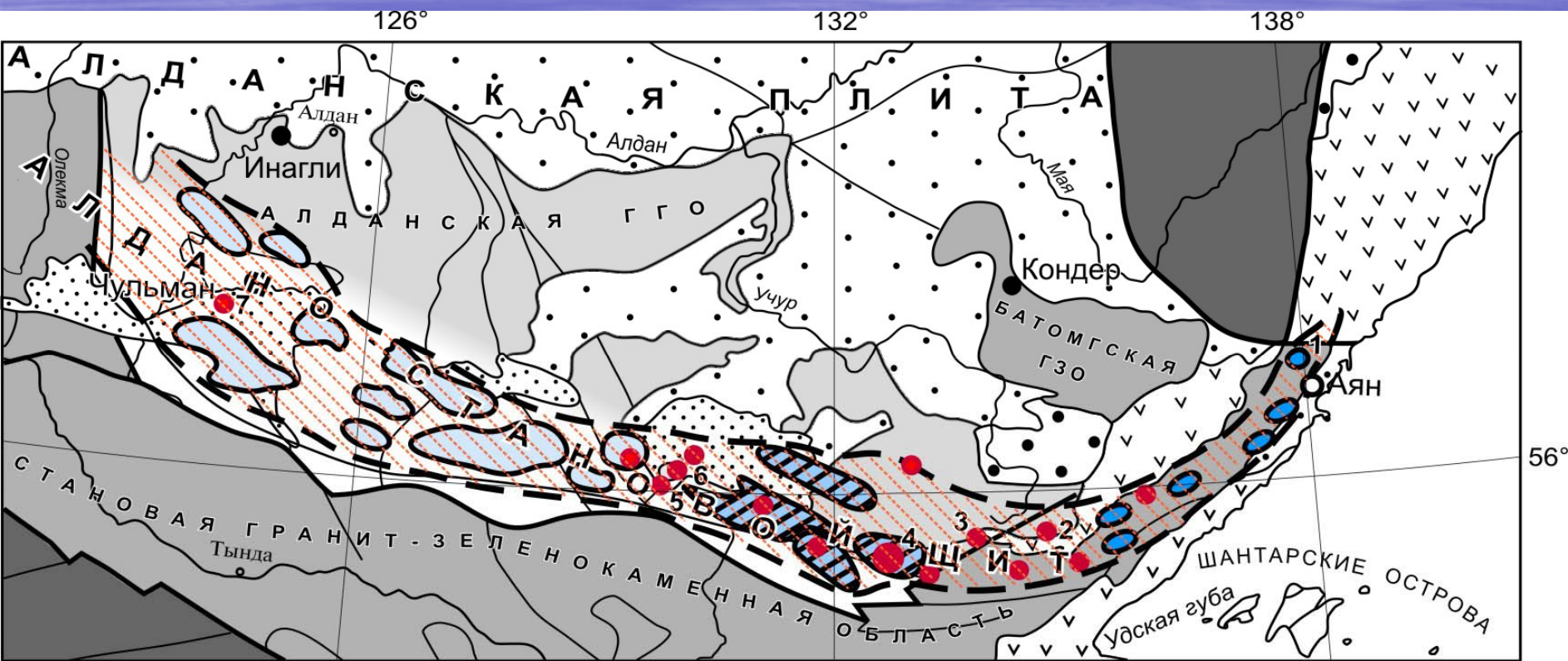
Антиподальный плюм сформировался на океанической полусфере Земли.

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

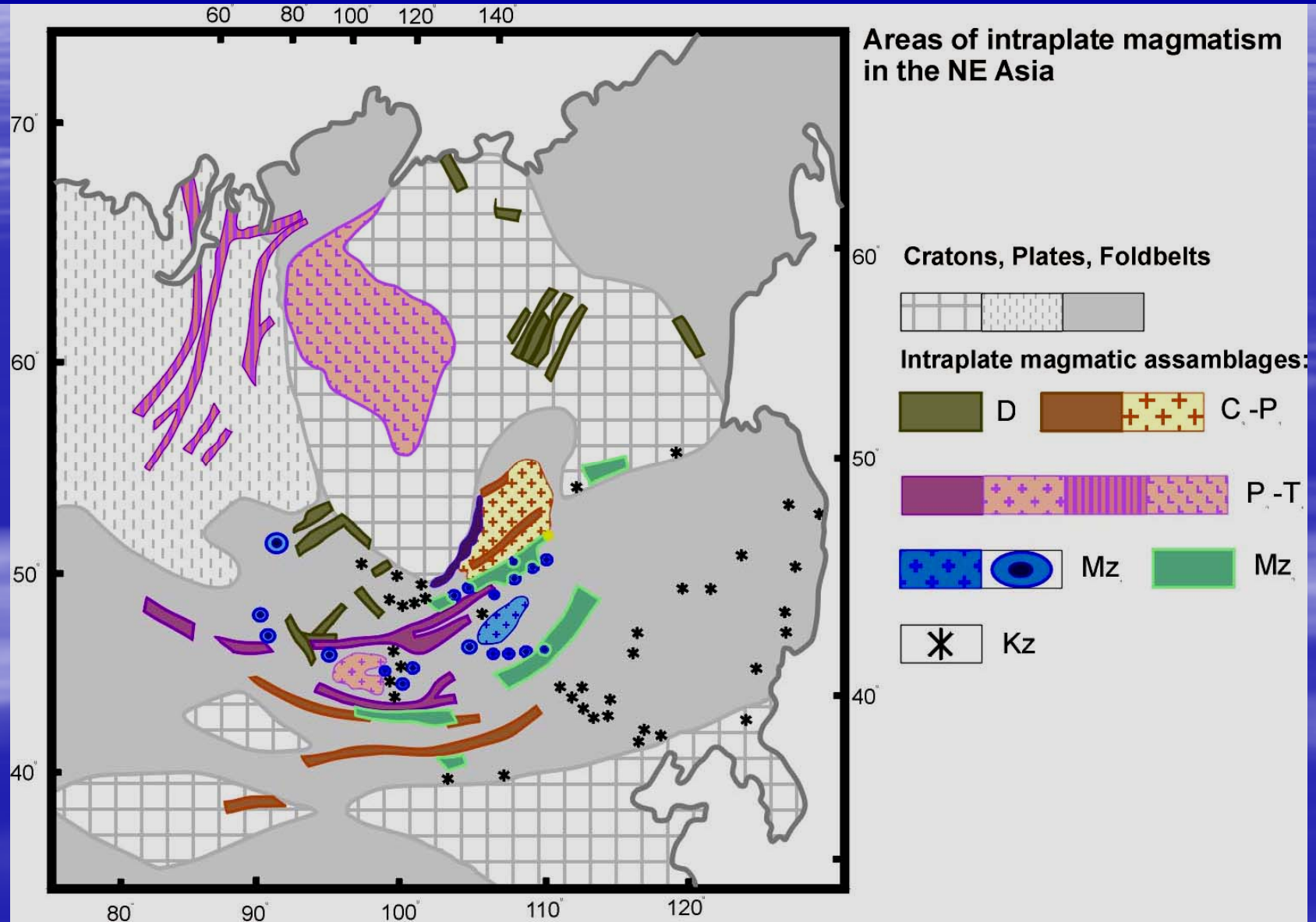
1) базит-ультрабазитовые интрузии, среди которых выделяются следующие разновидности пород: дунит-гарцбургиты, дунит-перидотит-пироксениты; апортонит-пироксенит-габбро; долериты. Минарелизация: Ni-Cu-Pt (запасы Ni в массивах Восточного Саяна до 1 млн. т.; содержание Pt в рудах до 20 г/т.);

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

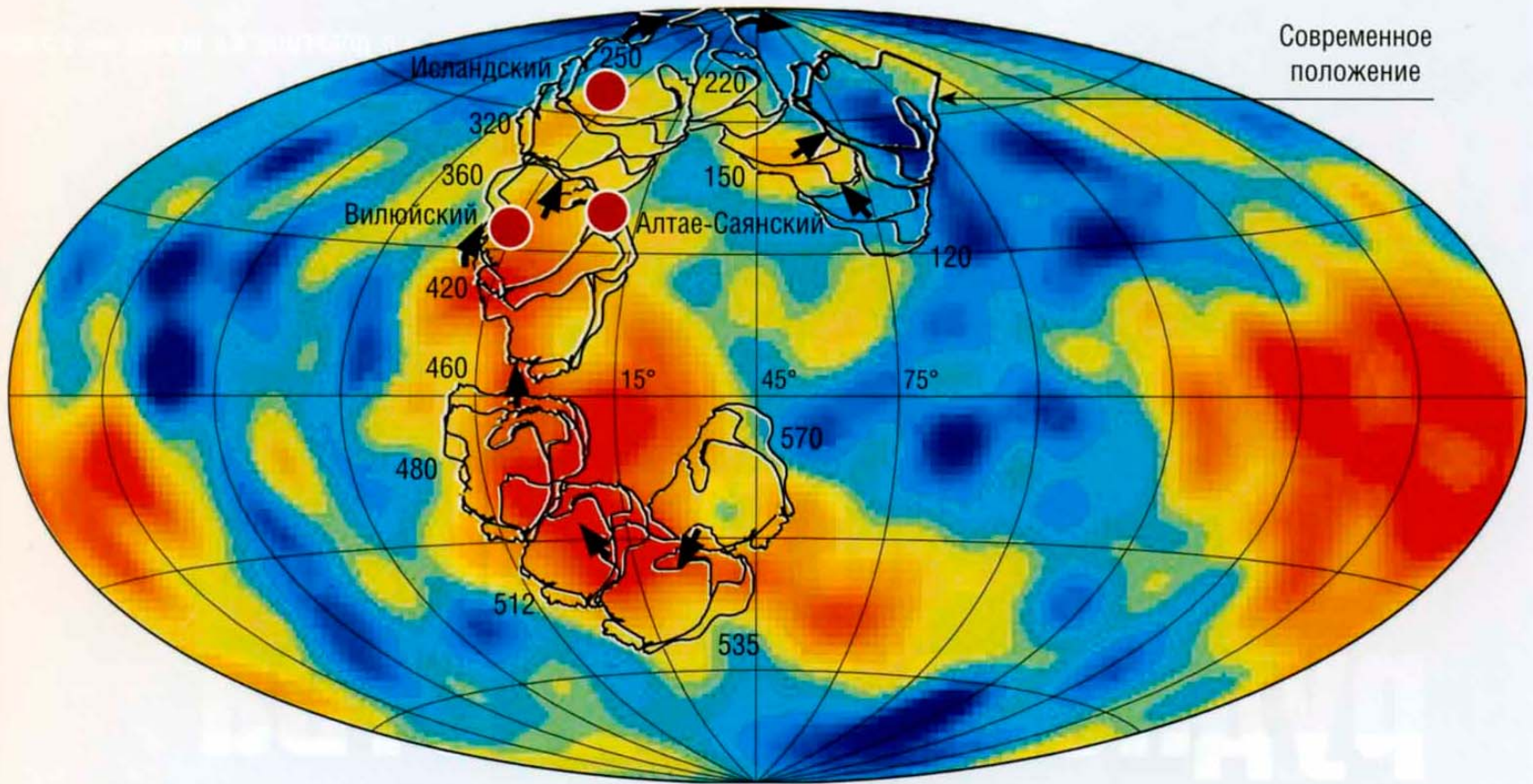
Основные положения по абсолютным палеорекострукциям Сибирского континента в фанерозое

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

Пермотриассовая 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 траектория 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).

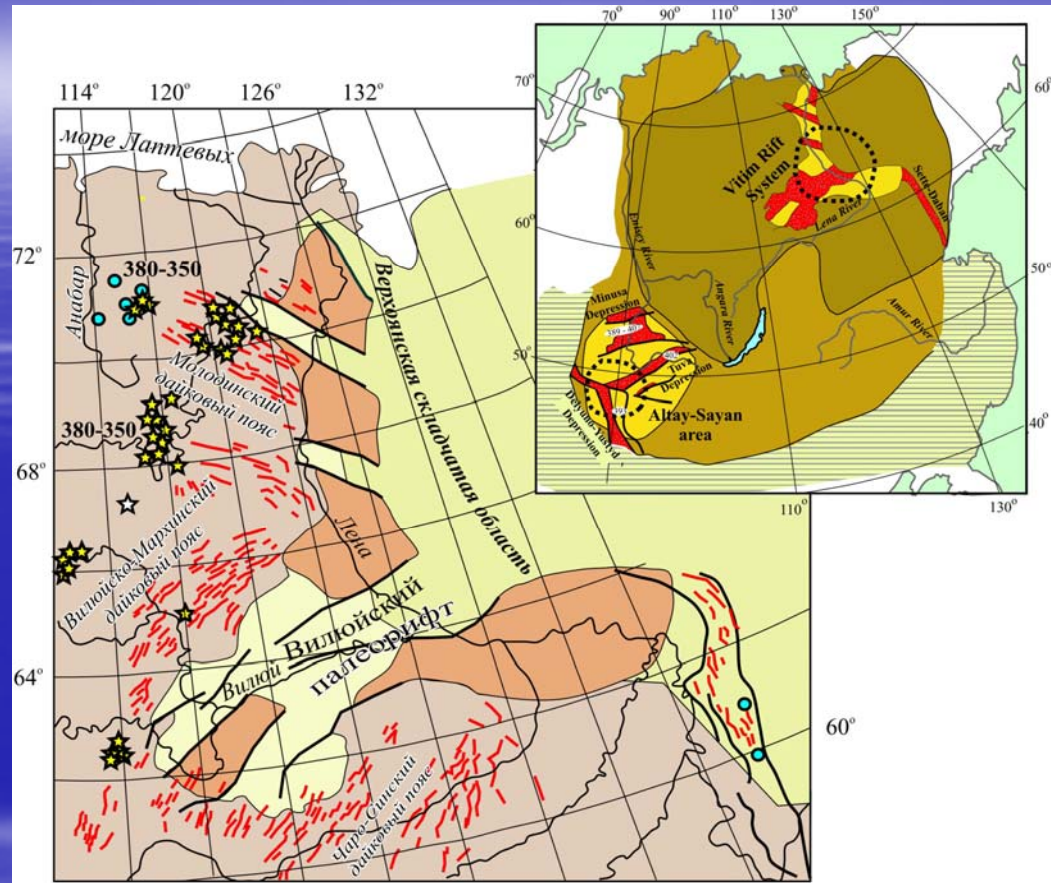


На основе палеорекострукции получена схема миграции Сибирского континента над Африканской мантийной провинцией за последние 570 млн лет.
 По: (Kuzmin et al., 2010)

- ➔ 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.

Эпохи девонского внутриплитового магматизма



Дайки



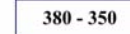
Кимберлиты



Грабены



Платформа



Цифры возраст в млн. лет



Щелочные ультраосновные породы и карбонатиты



Разломы



Реликты палеосвода



Верхоянская СО

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

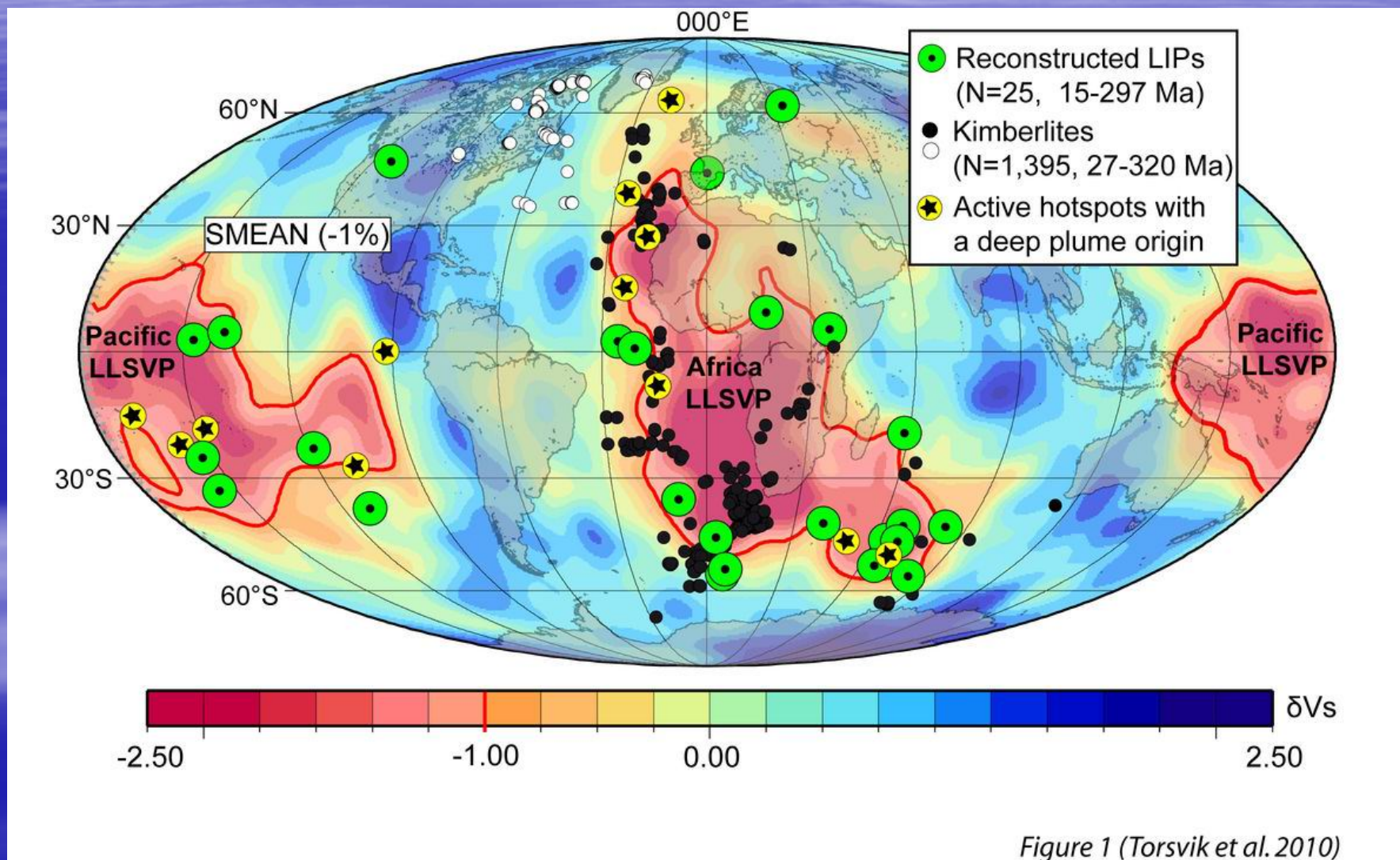
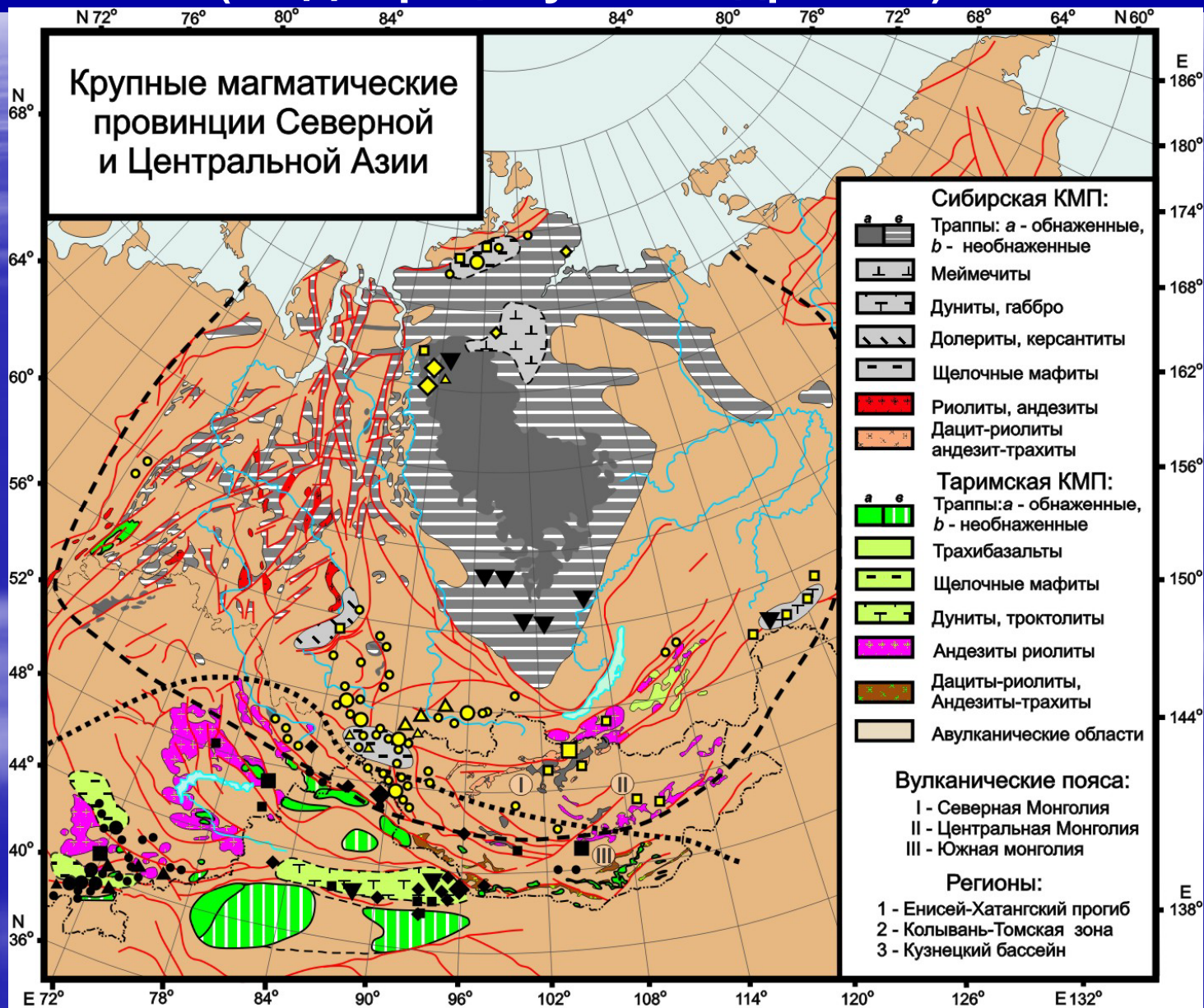


Figure 1 (Torsvik et al. 2010)

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

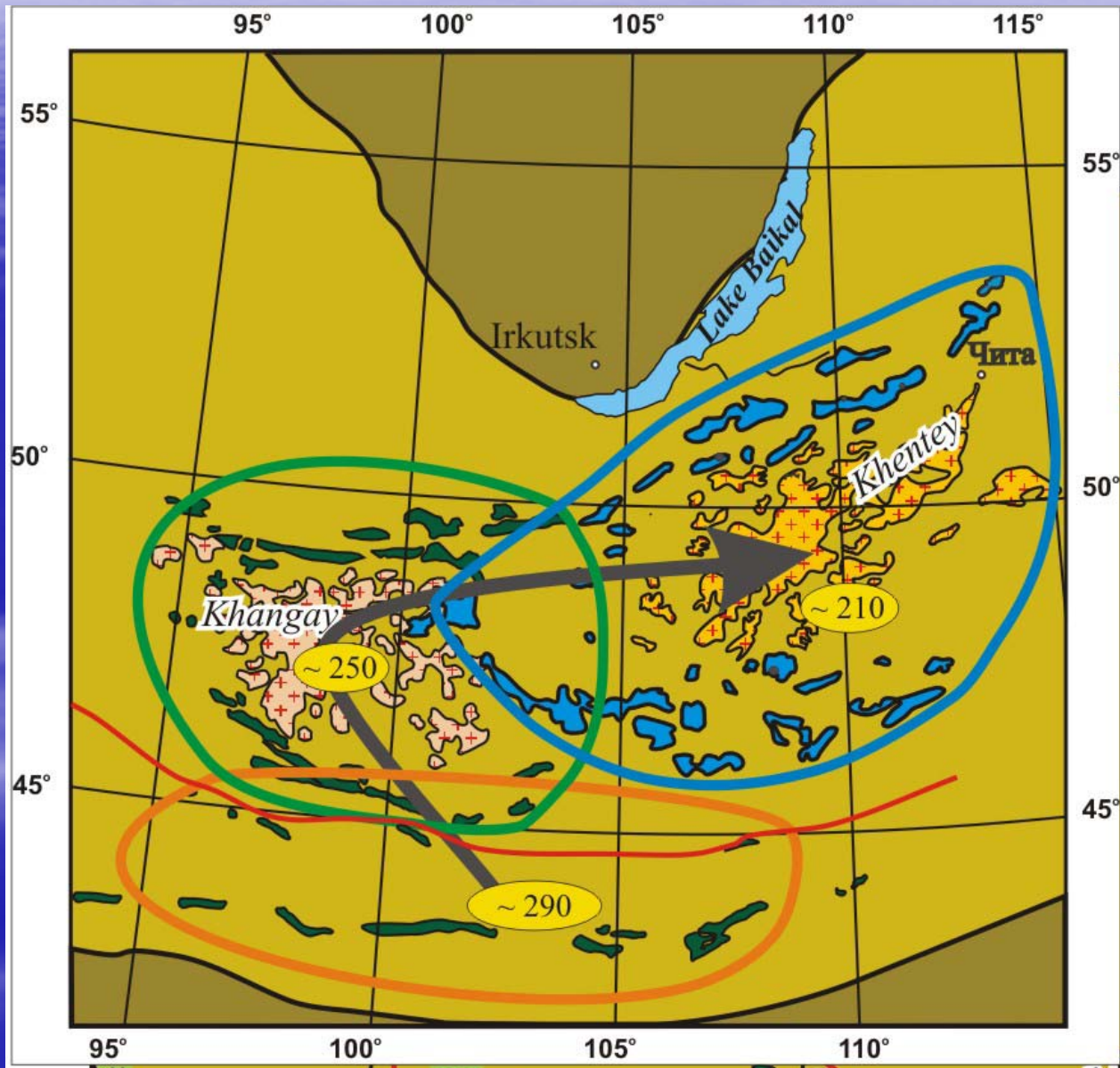
Sb-Hg, Au-Hg, Ag-Sb мест-ния Ni-Co-As мест-ния Cu-Мо-порфровые мест-ния Cu-Ni-Pt мест-ния
○ >5000 t. Hg ○ <5000 t. Hg ▲ >10000 t. Co ▲ <10000 t. Co ■ >1 Mt. Cu ■ <1 Mt. Cu ◆ >1 Mt. Cu ◆ <1 Mt. Cu
>100 t. Au <100 t. Au

Месторождения Таримской КМП

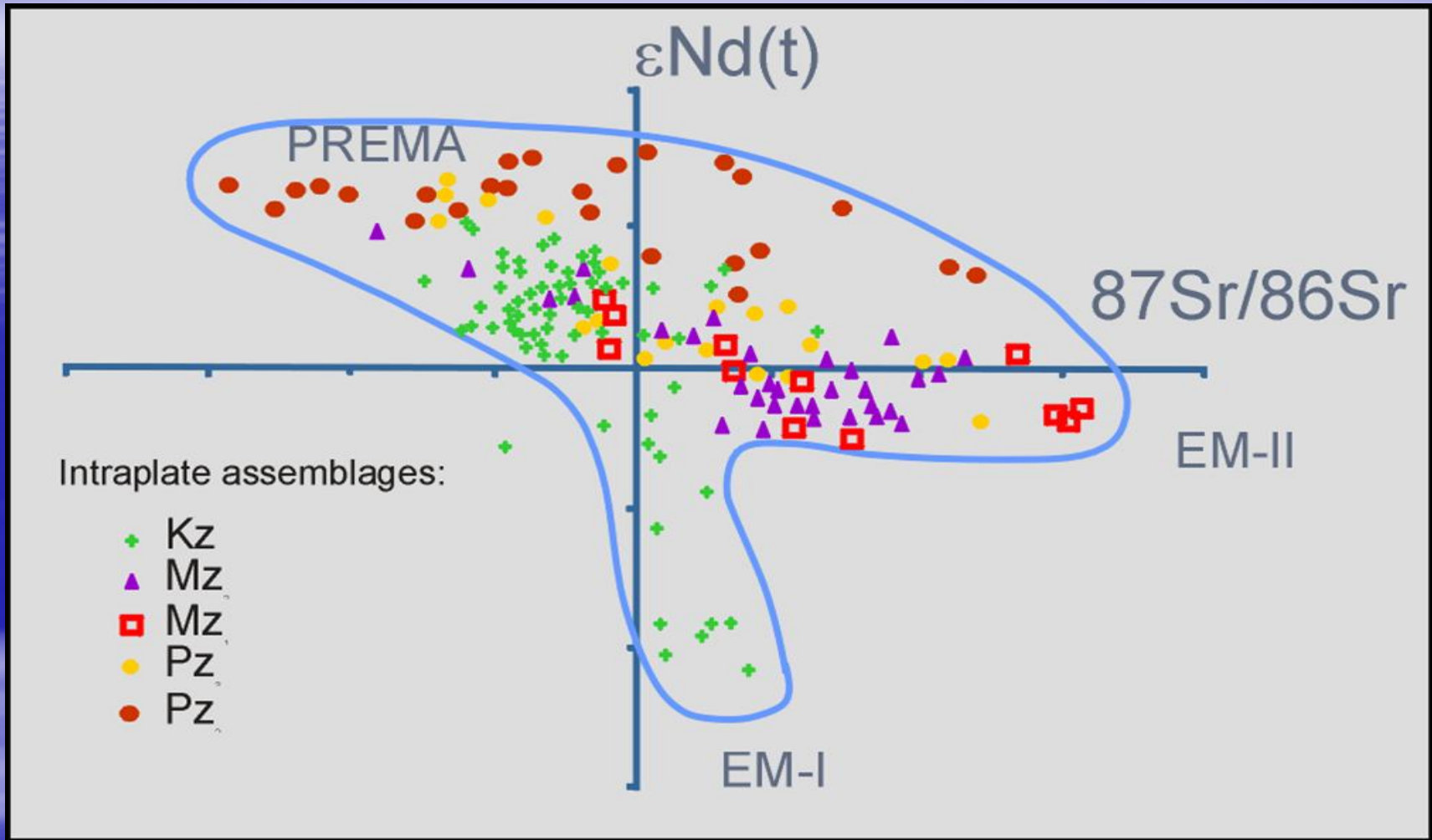
Sb-Hg, Au-Hg, Ag-Sb мест-ния Ni-Co-As мест-ния Cu-Мо-порфировые мест-ния Cu-Ni-Pt мест-ния
● >5000 t. Hg ● <5000 t. Hg ▲ >10000 t. Co ▲ <10000 t. Co ■ >1 Mt. Cu ■ <1 Mt. Cu ◆ >1 Mt. Cu ◆ <1 Mt. Cu
>100 t. Au <100 t. Au

▼ Fe and Fe-Ti-V мест-ния a b 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