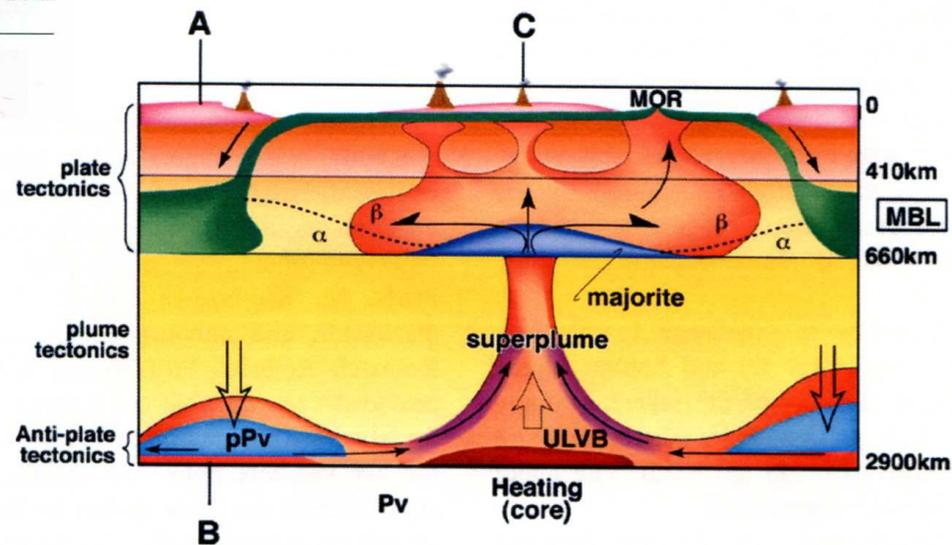
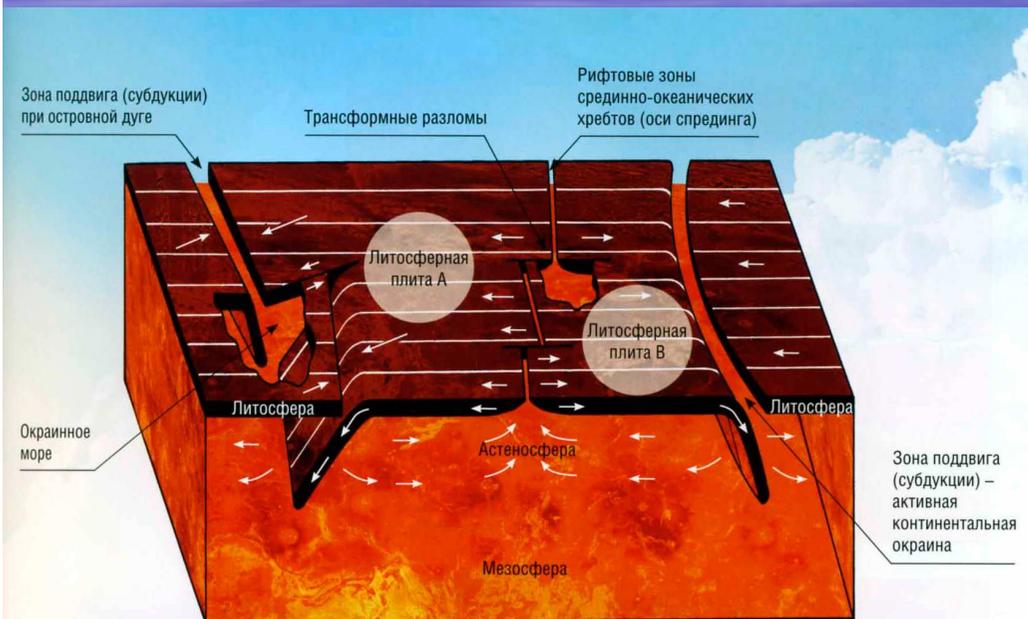


Кузьмин М.И.

Проблемы плюмов и их металлогения.



Т.Кун, автор книги «Структура научных революций», показал, что развитие науки идет НЕ ПУТЕМ ПЛАВНОГО НАРАЩИВАНИЯ НОВЫХ ЗНАНИЙ И ЗАМЕНЫ ИМИ СТАРЫХ, А ПУТЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КОРЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ, т.е. смены ведущих представлений, другими словами через периодически повторяющиеся научные революции, которые приводят к появлению новой парадигмы.

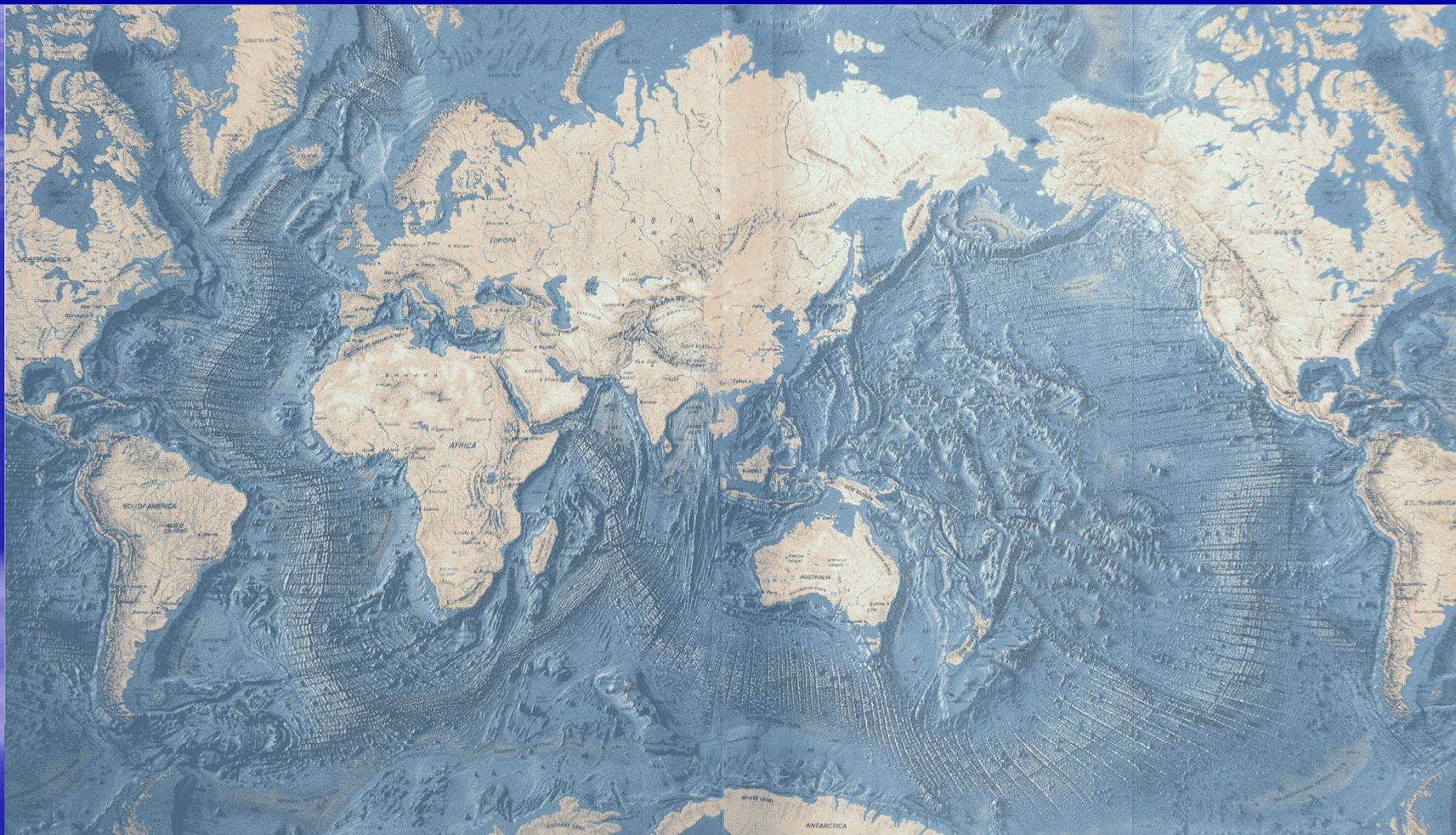
Далее появляется парадигма.

Достижения в виде фундаментальных трудов или обобщающих научных статей, признаваемых всем научным сообществом, Т.Кун предлагает называть **ПАРАДИГМОЙ**.

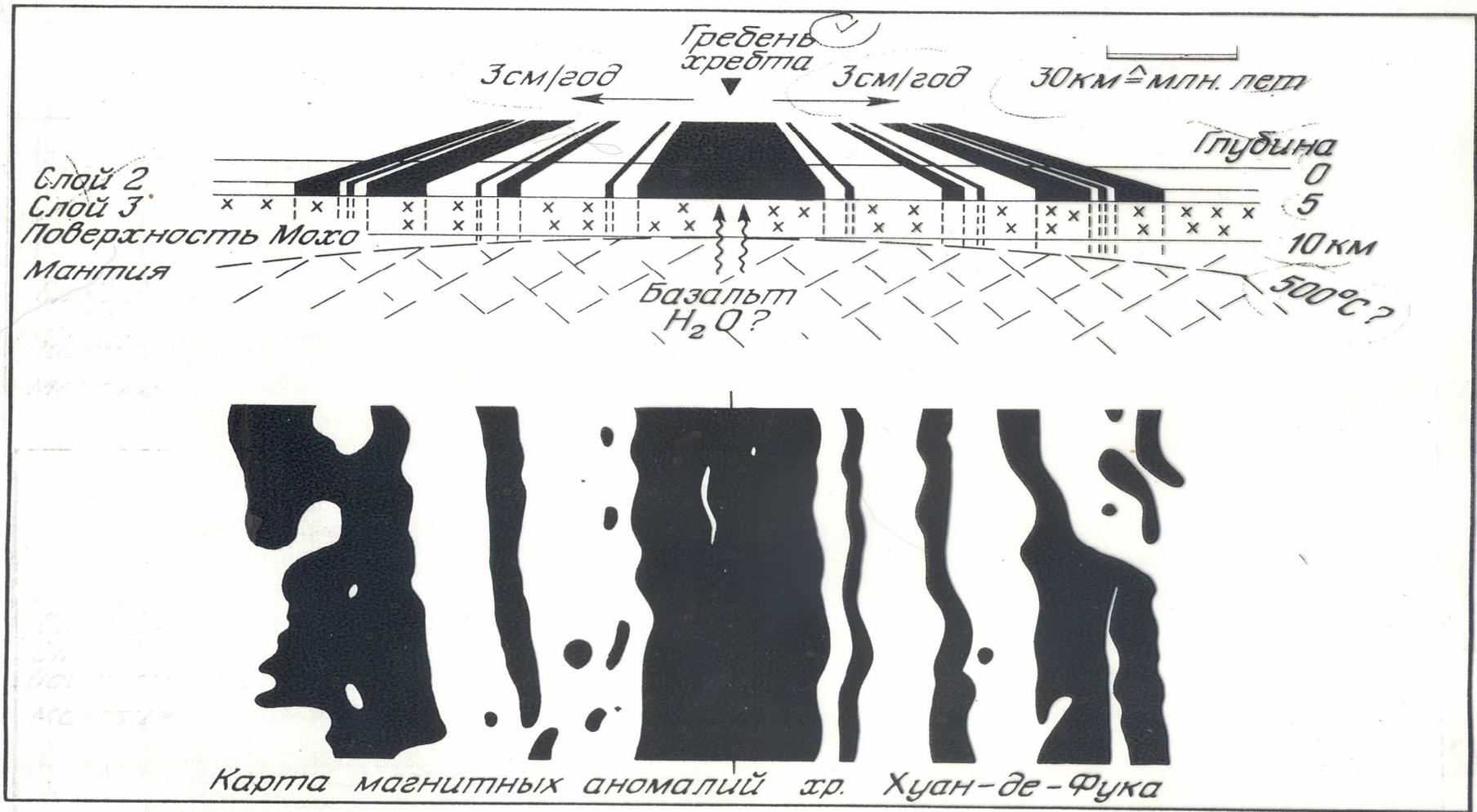
**В 60-тых годах появилась гипотеза, а в дальнейшем теория
«тектоники плит».**

Сформировалось направление – мобилизм.

Как это происходило: было «раскрыто» дно мирового океана.



**Р. Дитц и Г. Хесс впервые предложили термин *spreading* (спрединг) –
растекание морского дна**



1963. Ф.Вайн и М. Мэтьюз.

Открытие полосовых магнитных аномалий.

Карта сейсмичности Земли

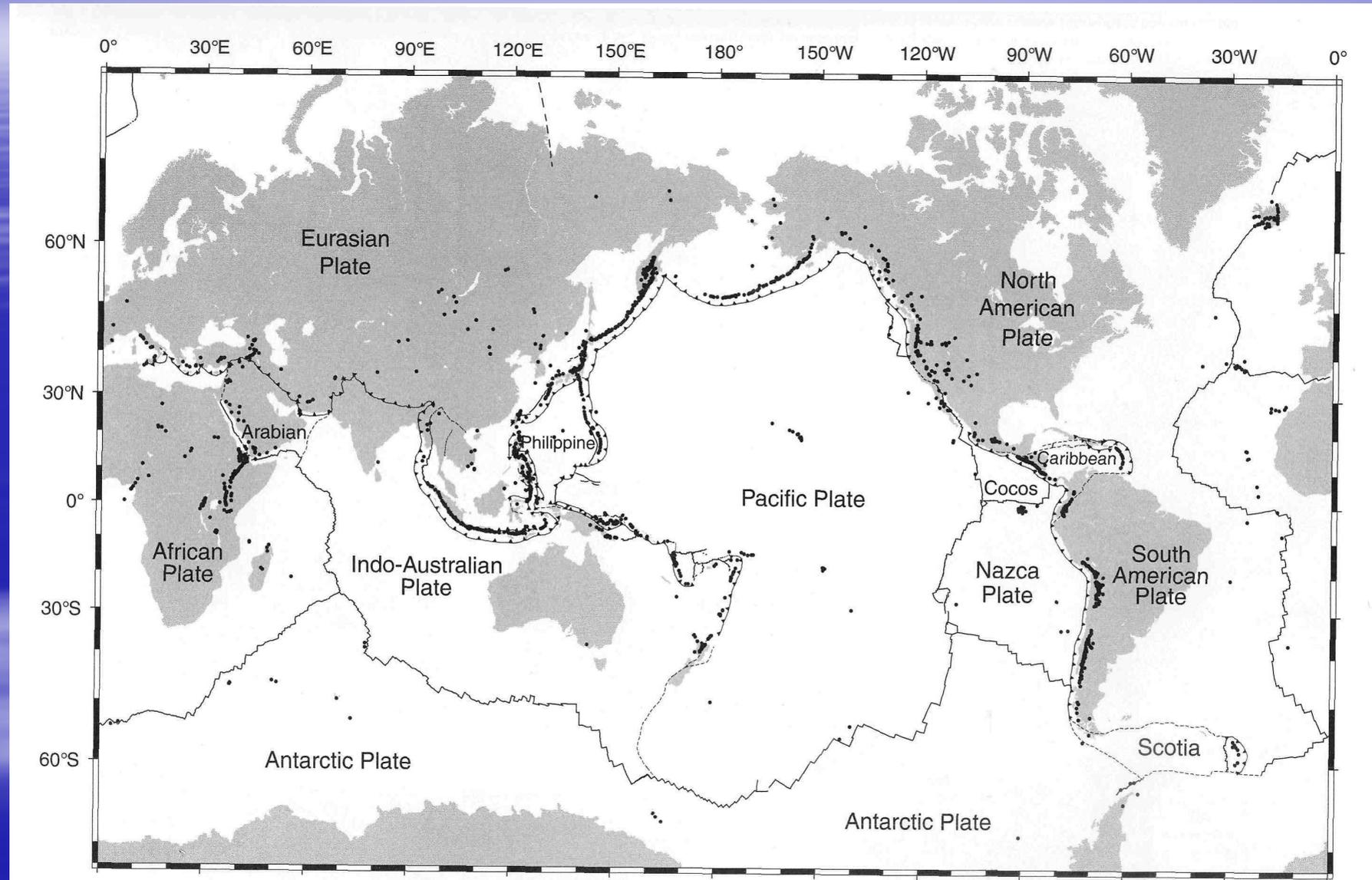
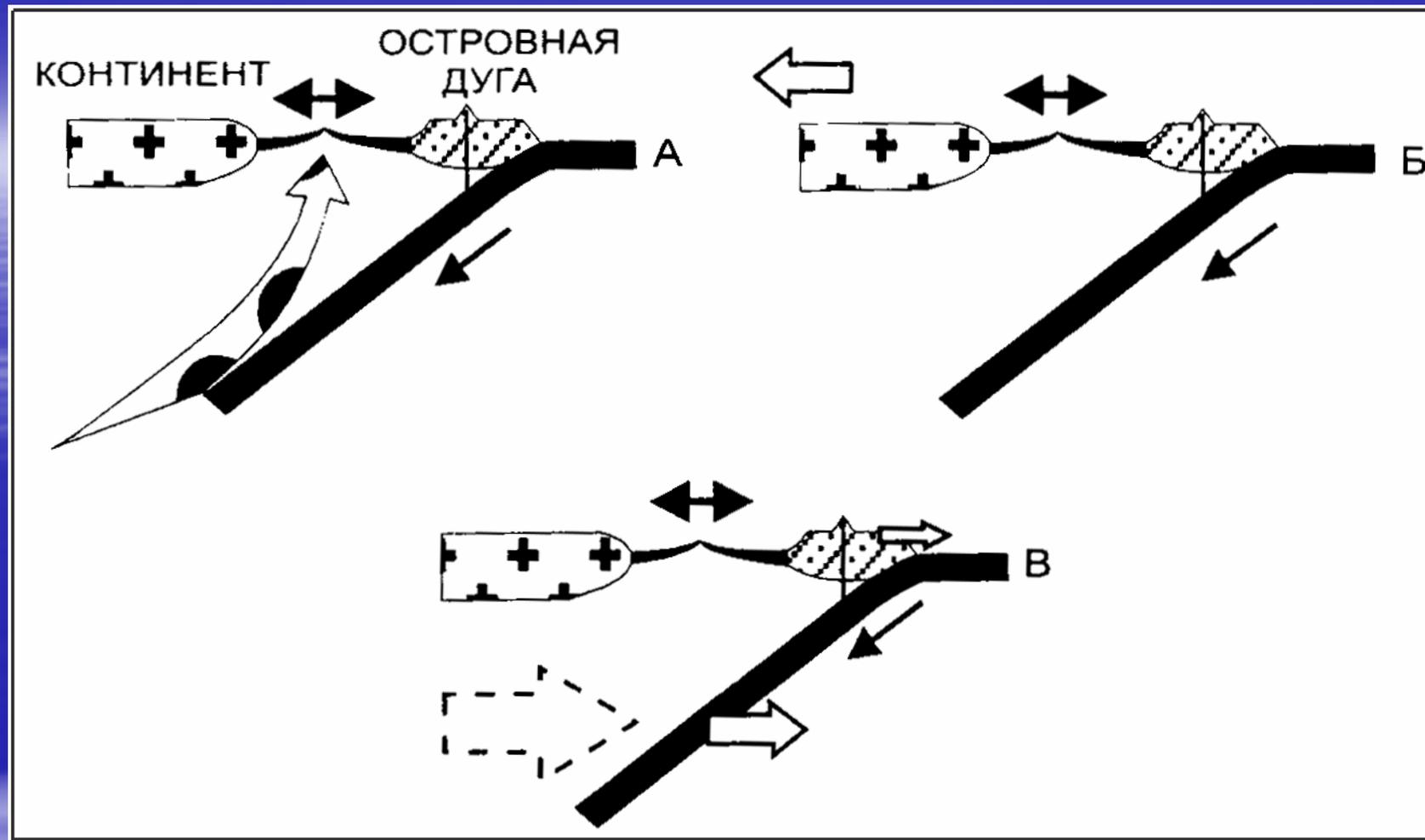
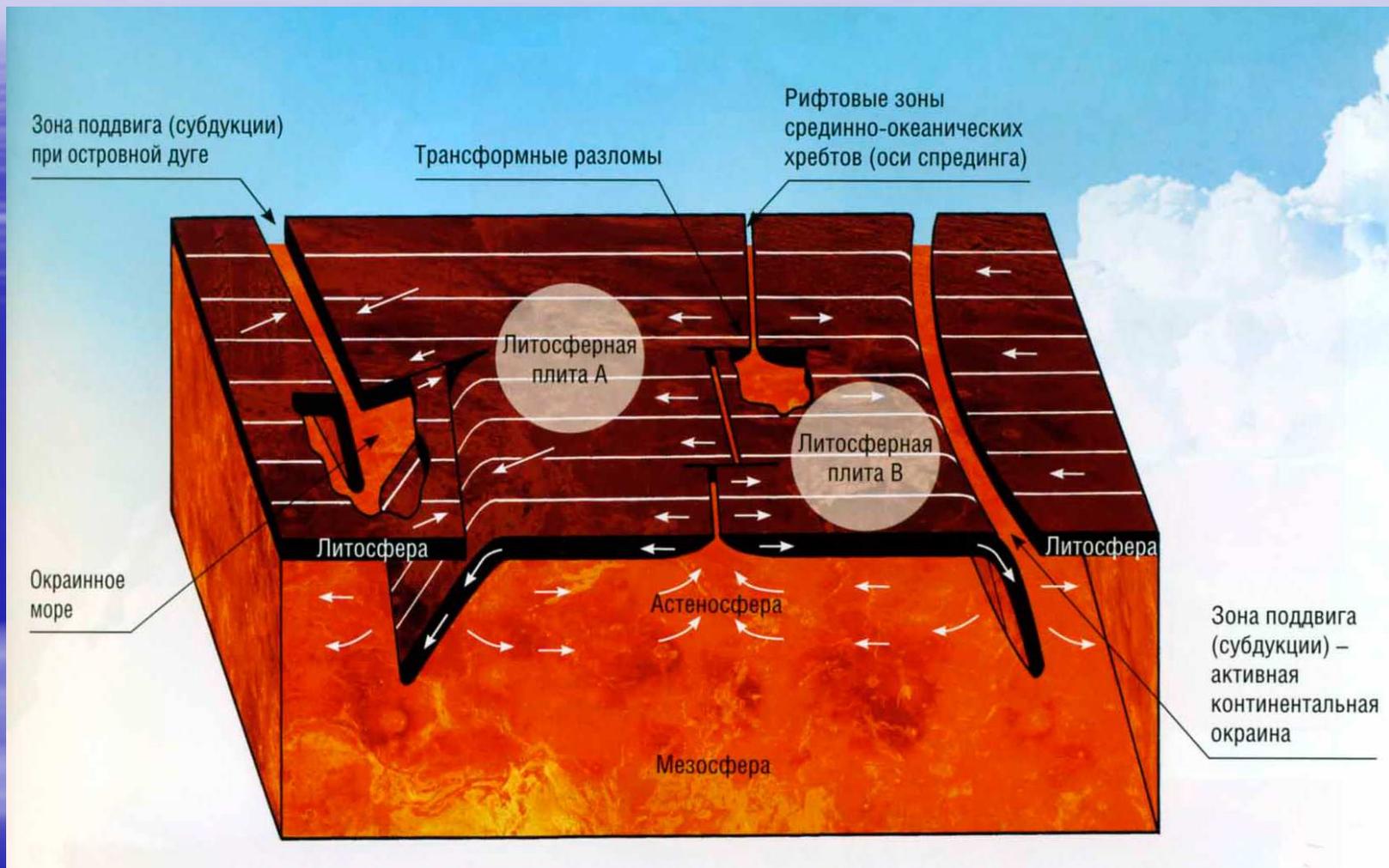


Figure 4. Plates, plate boundaries, and Quaternary volcanoes. The dozen or so tectonic plates are separated by spreading centers (solid lines), transform faults (dashed lines), and subduction or thrust faults (triangular fronts). The majority of active or recently active volcanoes (Siebert and Simkin, 2002) are associated with convergent plate boundaries.

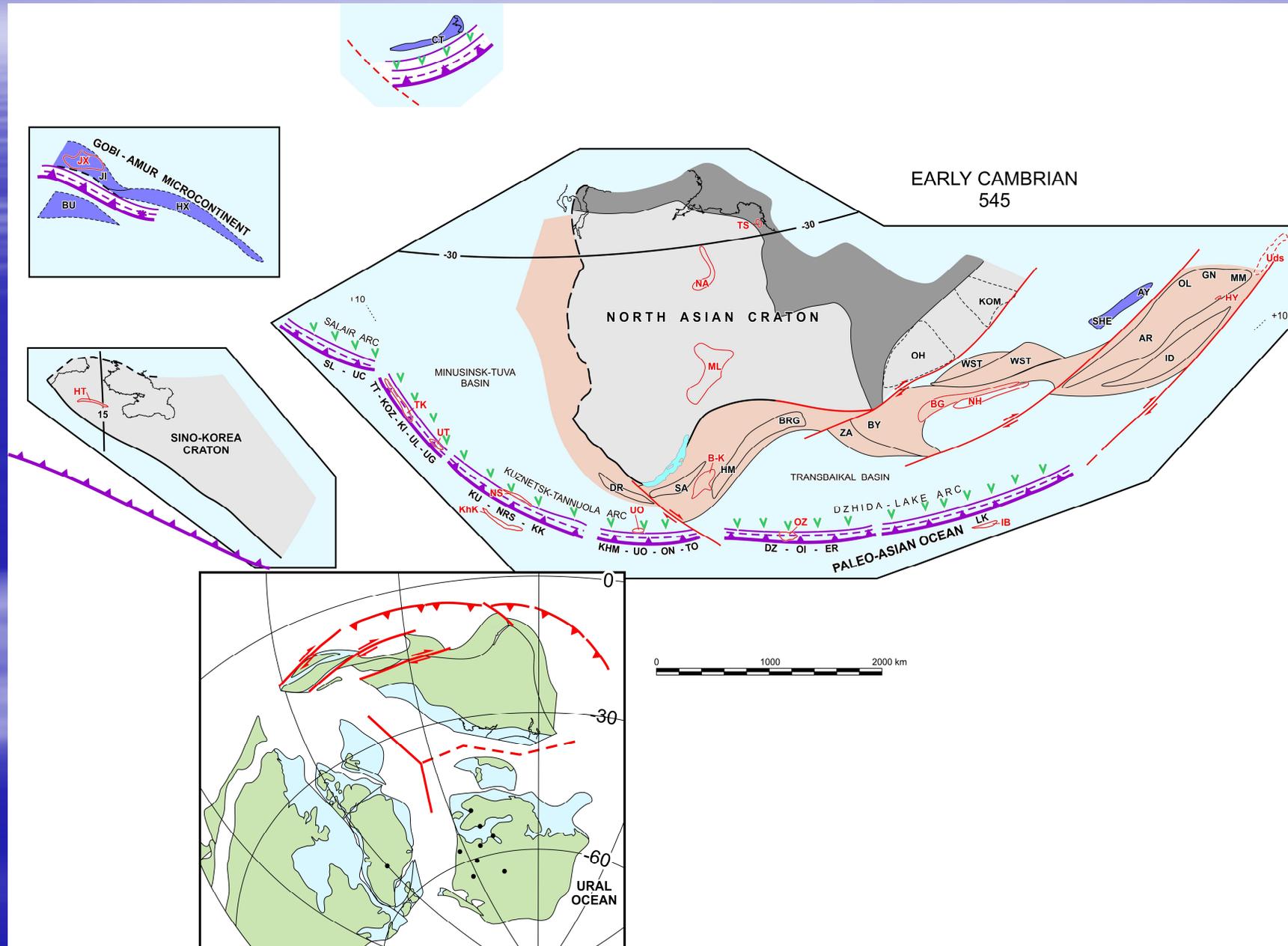


Модели формирования задуговых бассейнов по Тамаки, Honza (1991): А – модель «впрыскивания» мантийного диапира; Б – кинематическая модель; В – модель астеносферного потока.

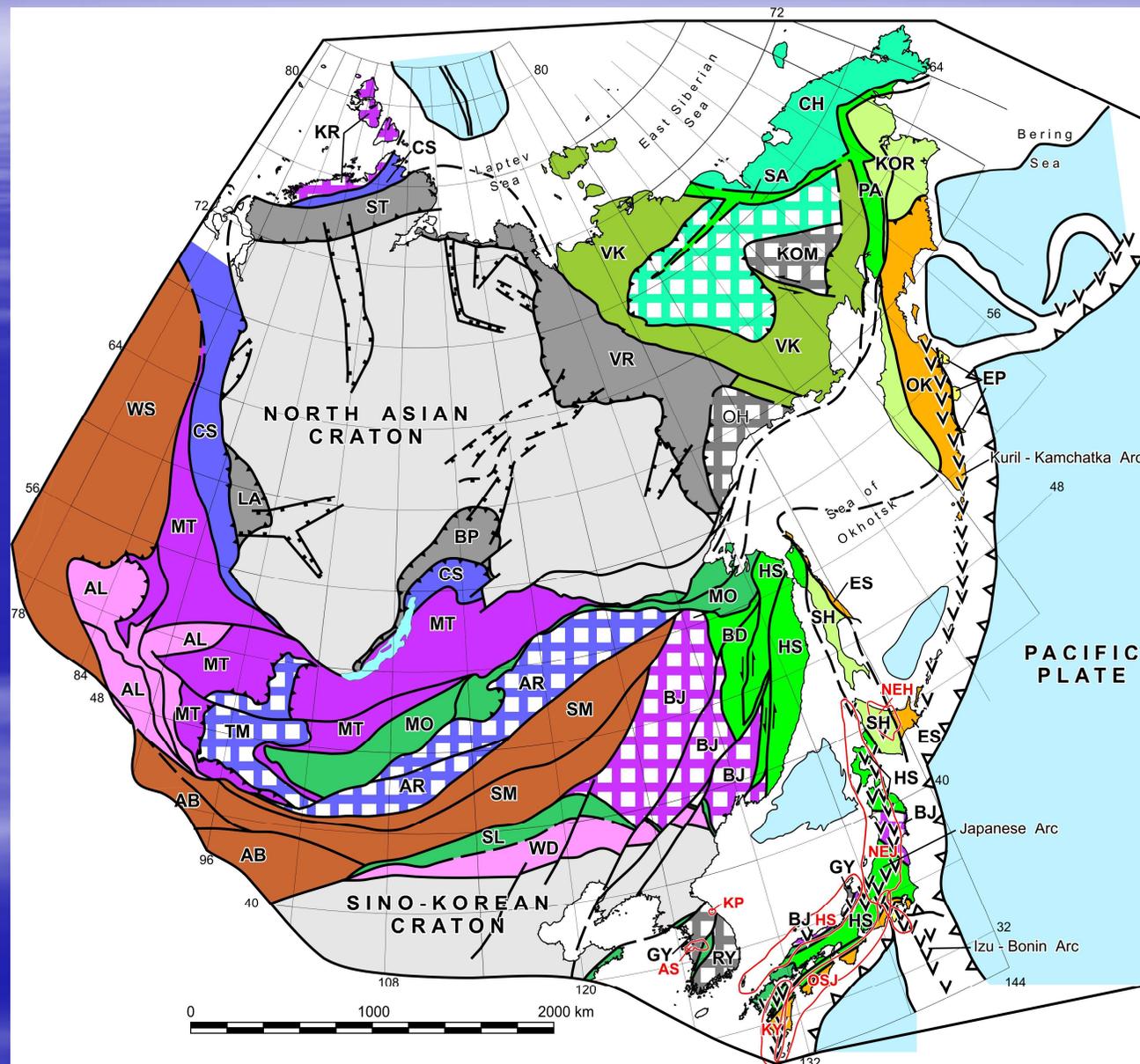
Схема взаимодействия литосферных плит.



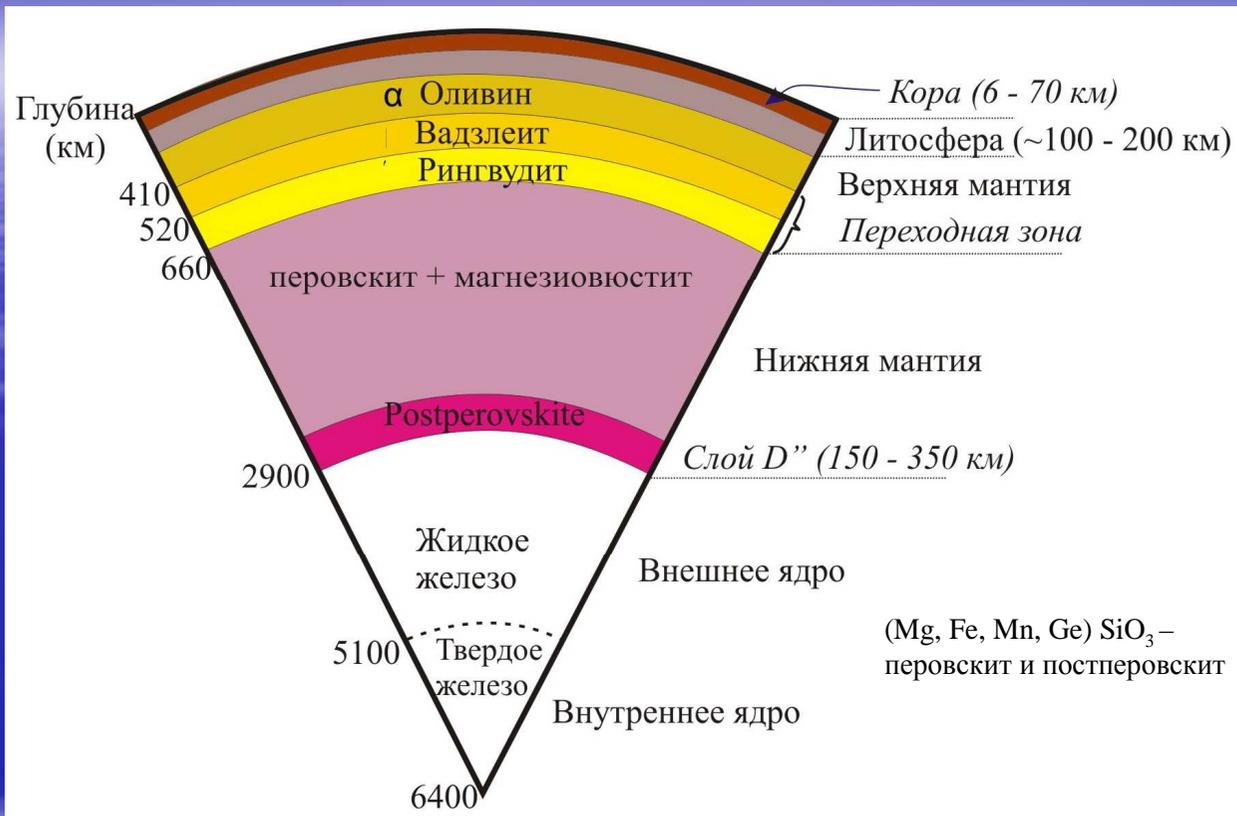
Реконструкция ранний кембрий



Орогенические пояса Центральной Азии



Внутреннее строение Земли.

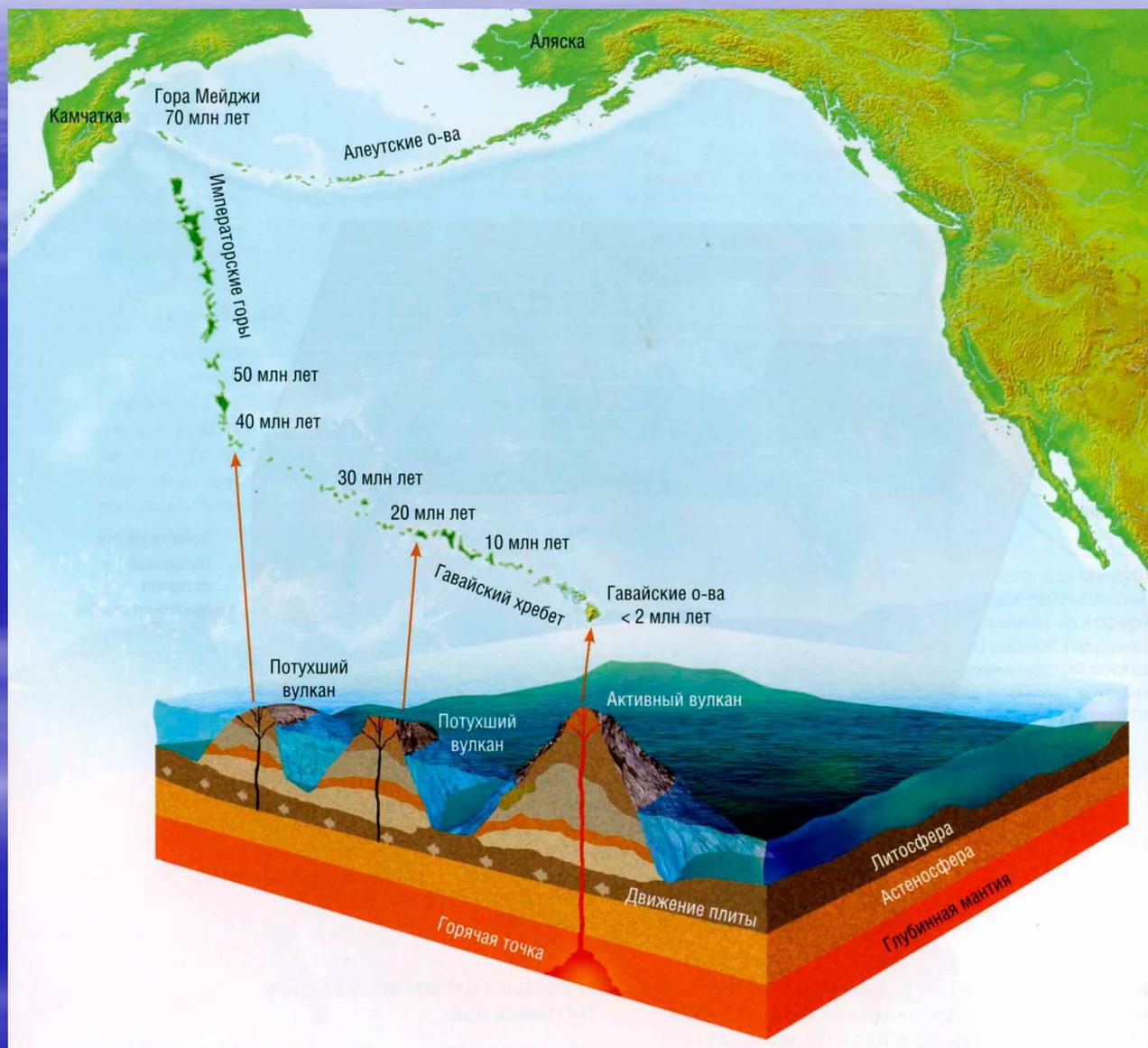


В 2002-2004 гг. был определен постперовскит как более плотной структурной упаковки по сравнению с перовскитом (на 1,2 %).

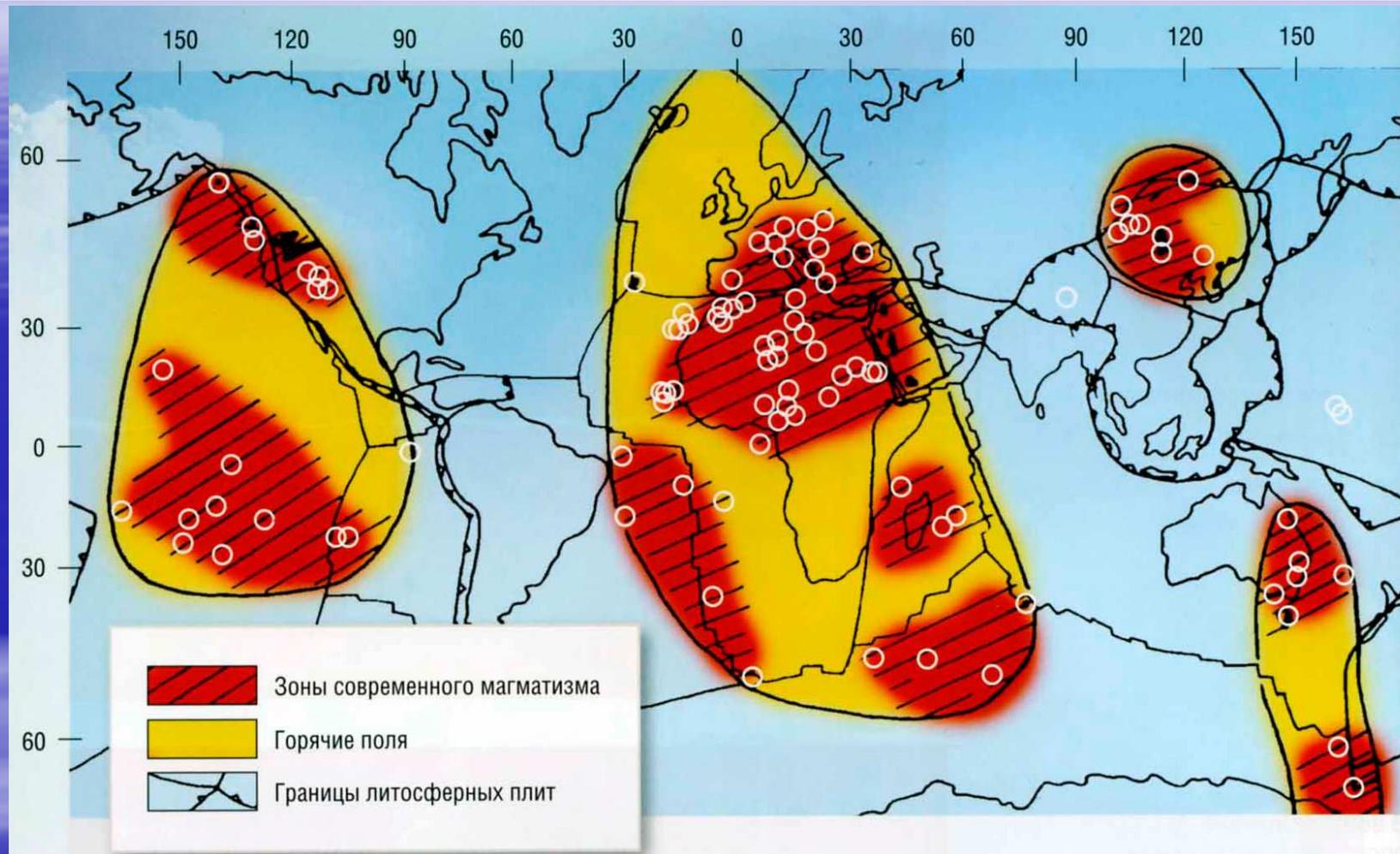
Обоснование постперовскита было получено путем квантово-механических расчетов (Oganov et al., 2004) и экспериментально с применением алмазной наковальни (Mura Kami, Horose et al., 2004) MgSiO_2 (перовскит – основной минерал нижней мантии) при P 124-127 ГПа и T 2500-3000 К трансформируется в постперовскит 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)

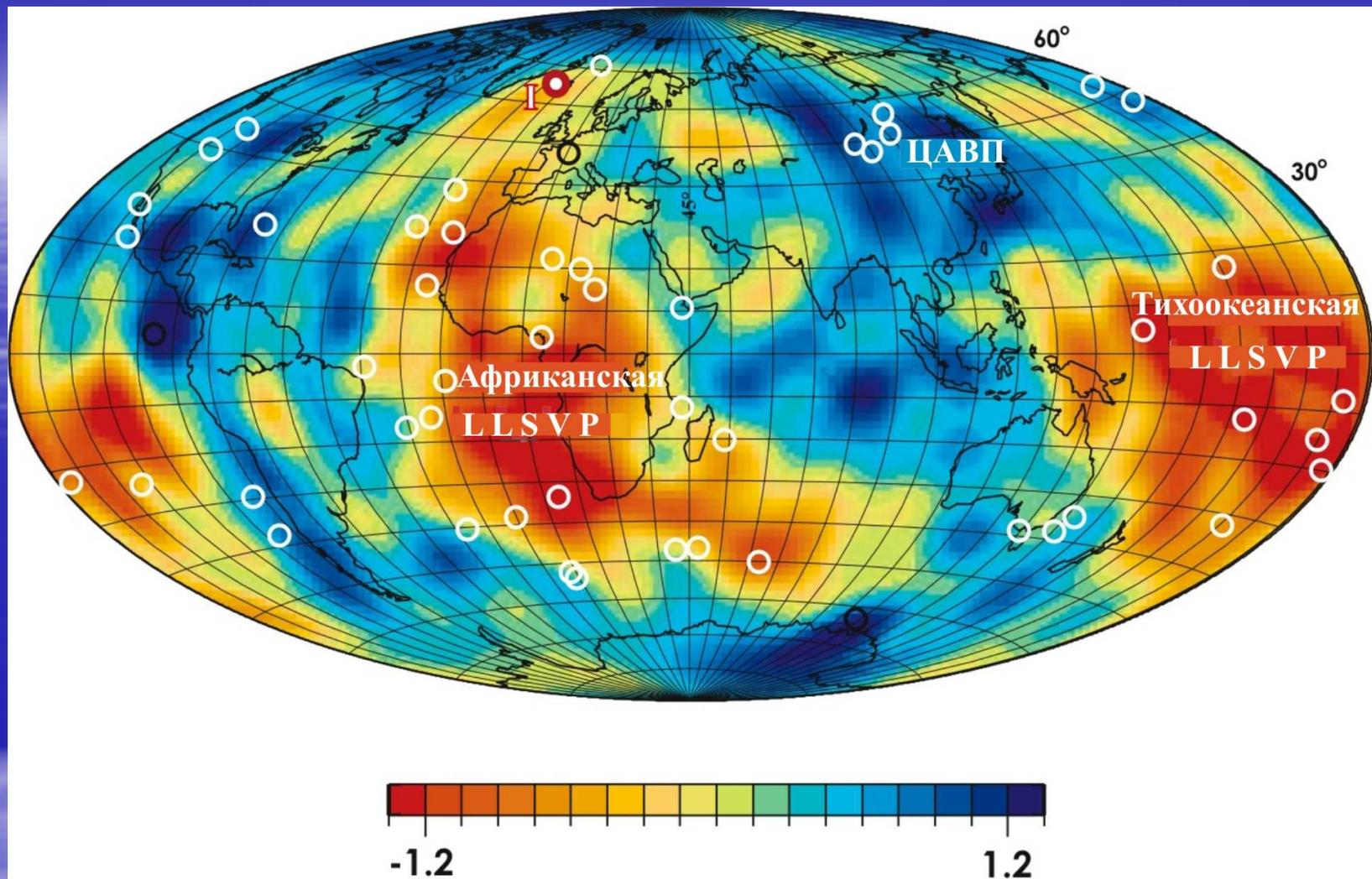
Принципиальное отличие горячих точек от литосферных плит.



Горячие поля мантии Земли (по Зоненшайн, Кузьмин, 1983).

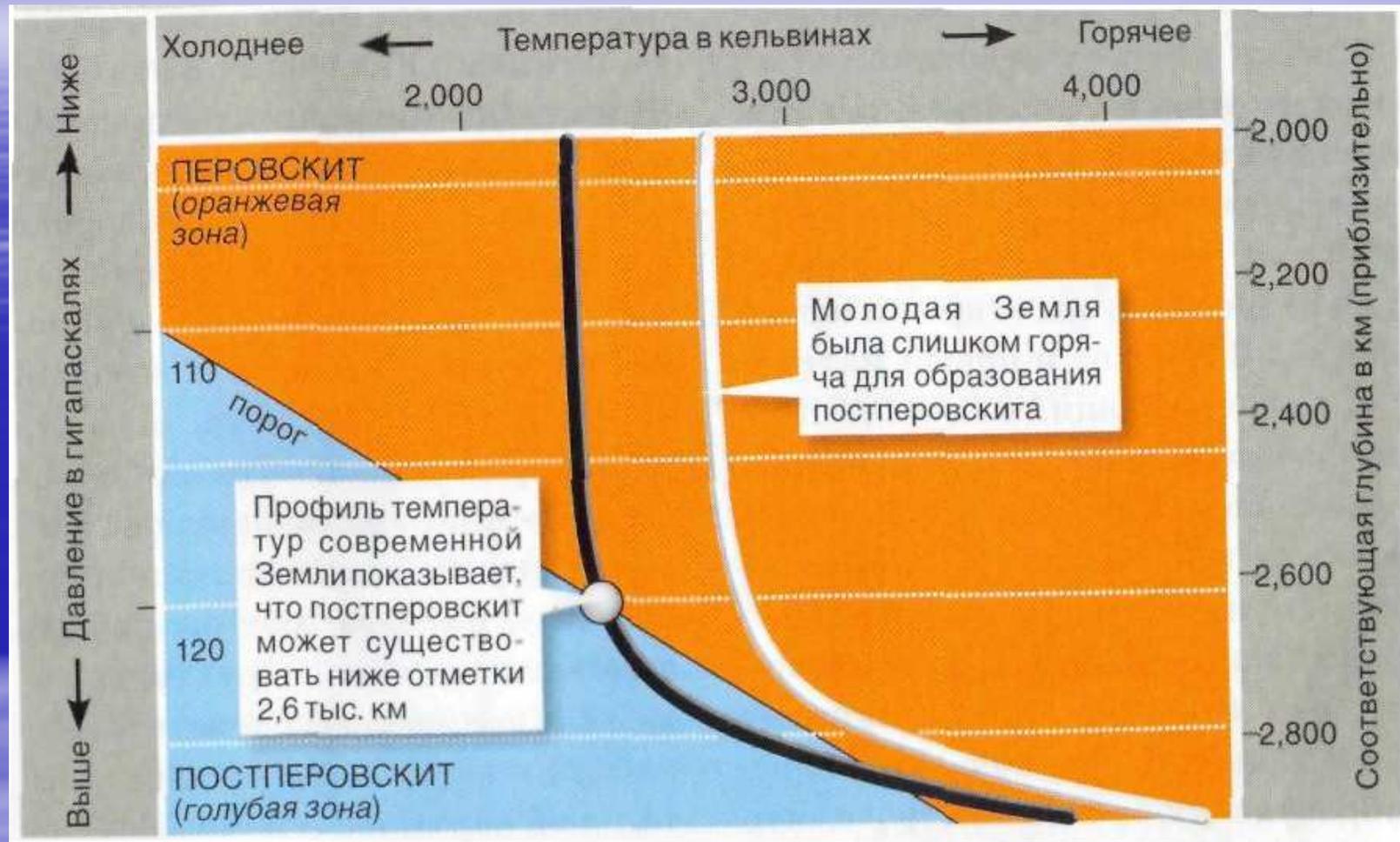


Отмечено: горячие поля совпадают с положительными аномалиями в рельефе и положительными аномалиями в форме геоида.



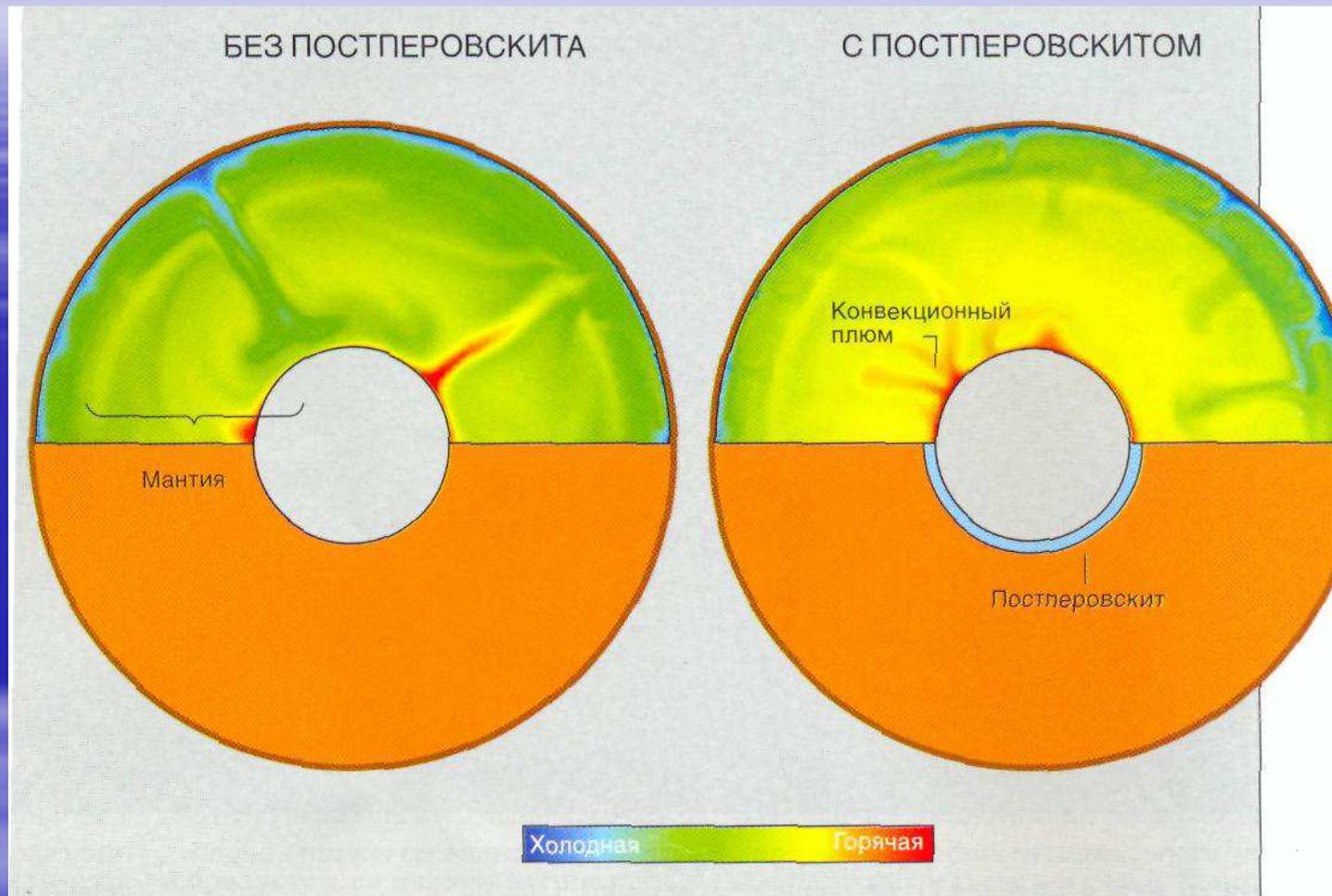
Сейсмотомография показала LLSVP прослеживаются от границы ядро-мантия до поверхности Земли. На поверхности они выделены как Африканский и Тихоокеанский суперплюмы (Courtilot et al., 2003; Burke, Torsvik, 2004), к ним приурочены 49 современных горячих точек.

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.

Е.Е. Милановский, один из первых отметил, что зеленокаменные пояса архея формировались в процессе «своеобразного рассеянного рифтообразования» в переменных режимах растяжения (с массовыми вулканическими извержениями) и сжатия. При этом он полагал, что «такое чередование наиболее естественно объясняется с позиций гипотезы пульсации объема Земли на фоне некоторого общего неравномерного её расширения, происходящего на протяжении геологической истории планеты» (Милановский, 1983, стр. 257). Эта гипотеза, на первый взгляд, вполне логично объясняет развитие глобальной системы зеленокаменных поясов. В то же время она не увязывается с концепцией о постоянном объеме планеты и не учитывает воздействие внеземных факторов, таких как импактные события а также последующие процессы тектоники плит, в результате которых зеленокаменные пояса, даже в пределах одного кратона, имеют разное простирание.

А. Массированная бомбардировка ранней Земли и Луны могла оказать влияние на изменение расстояния между ними и, отсюда, на скорость осевого вращения Земли в условиях падения астероидов в зону экватора («широтный эффект» Баренбаума, 2003)).

Б. В результате в раннем архее под действием центробежных сил быстро вращающейся ранней Земли колебательные изменения экваториального и полярного радиусов привели к формированию субэкваториального «горячего пояса», или пояса мантийных плюмов, с центрами зарождения сиалических ядер в местах падения гигантских астероидов (импактно-триггерный процесс), а также – к появлению, вследствие этого, первого суперконтинента.

Основные проблемы для обсуждения.

1. Два различных типа плюмов в истории Земли:

а) первый тип связан с импактными событиями, формировались на ранних этапах истории Земли;

б) второй – поздней Земли, образующиеся в связи с тектоникой плит.

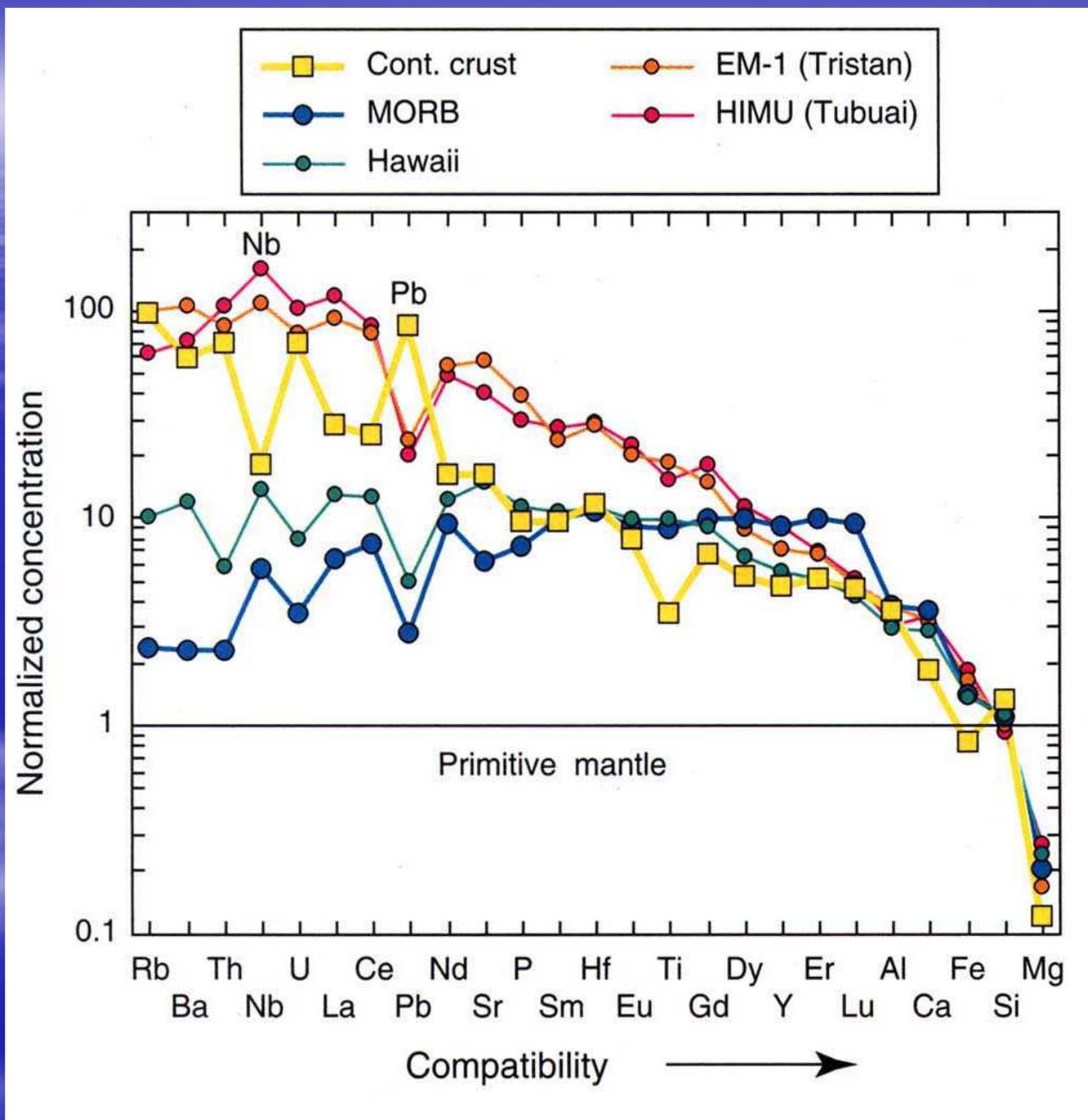
2. Плюмы последних 2 млрд. лет.

Существует две разновидности плюмов в связи с местом их зарождения в мантии Земли.

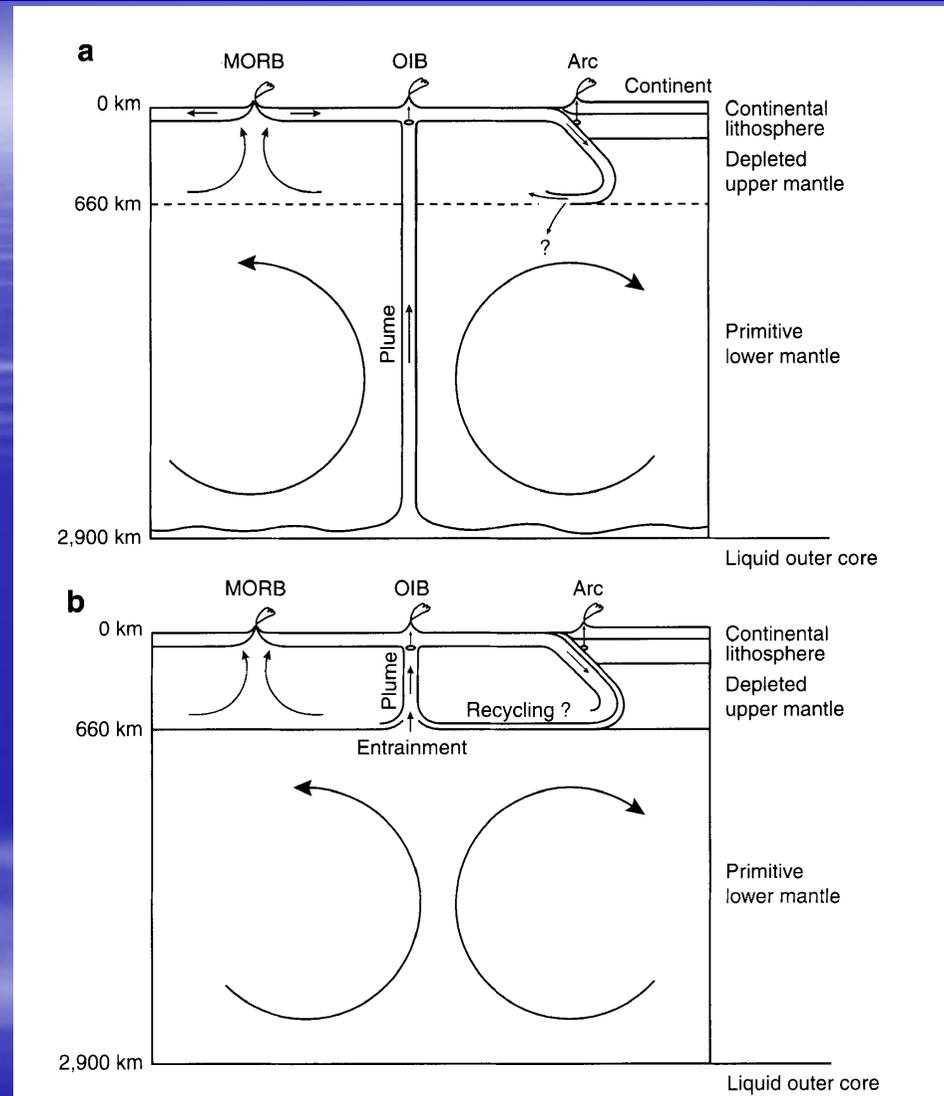
3. Внутриплитный магматизм Сибири.

4. Месторождения связанные с плюмовым магматизмом.

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 вулканитами 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.

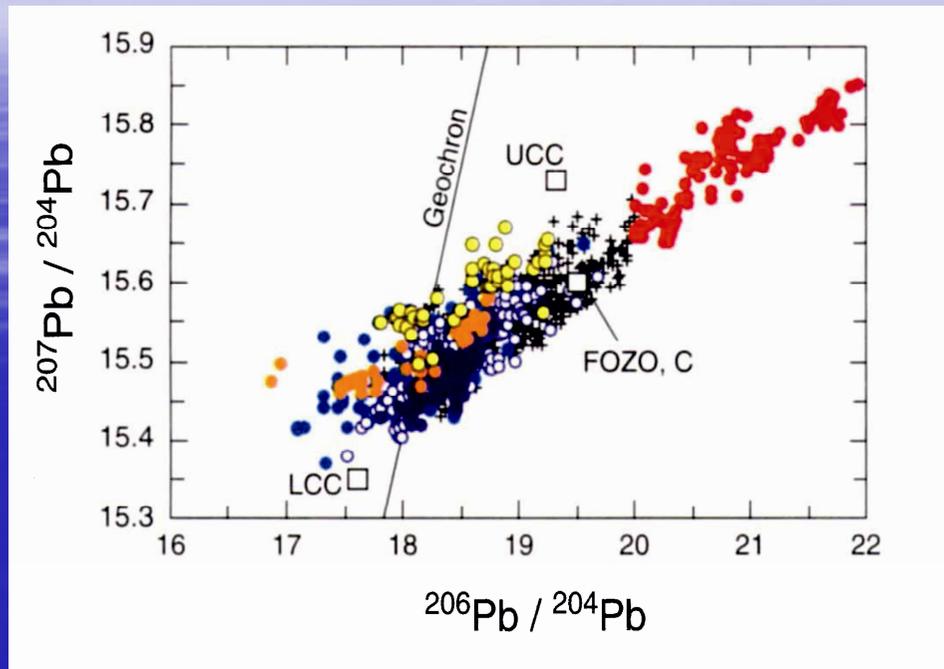


Модель мантийной циркуляции по Hofman (1997).



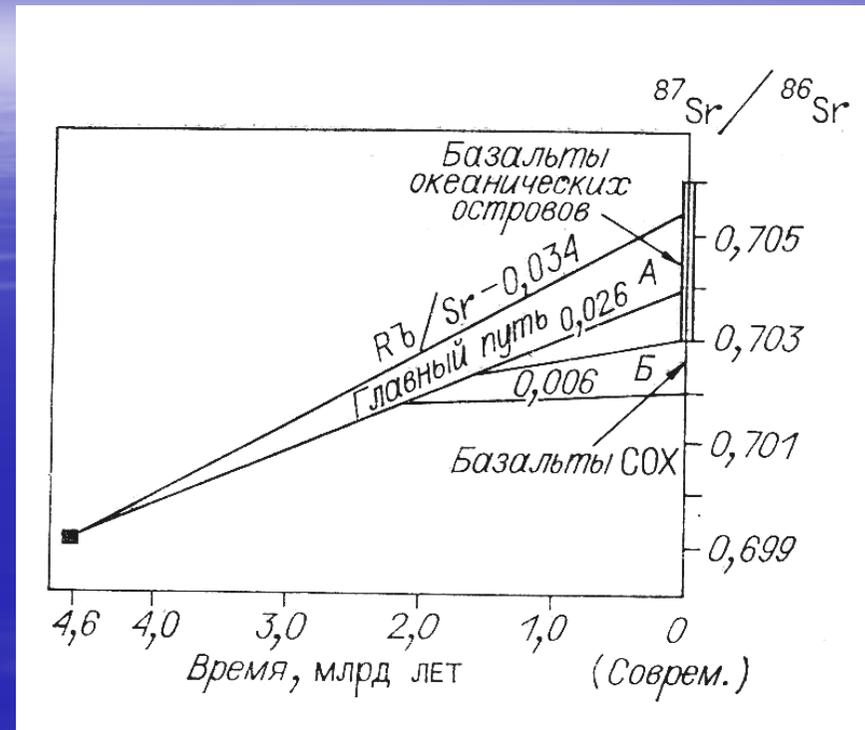
Базальты СОХ обеднены всеми литофильными элементами. Они образуются из астеносферы. Деплетирована вся верхняя мантия. Когда это произошло?

Образование деплетированной мантии.



Hofman, 1997

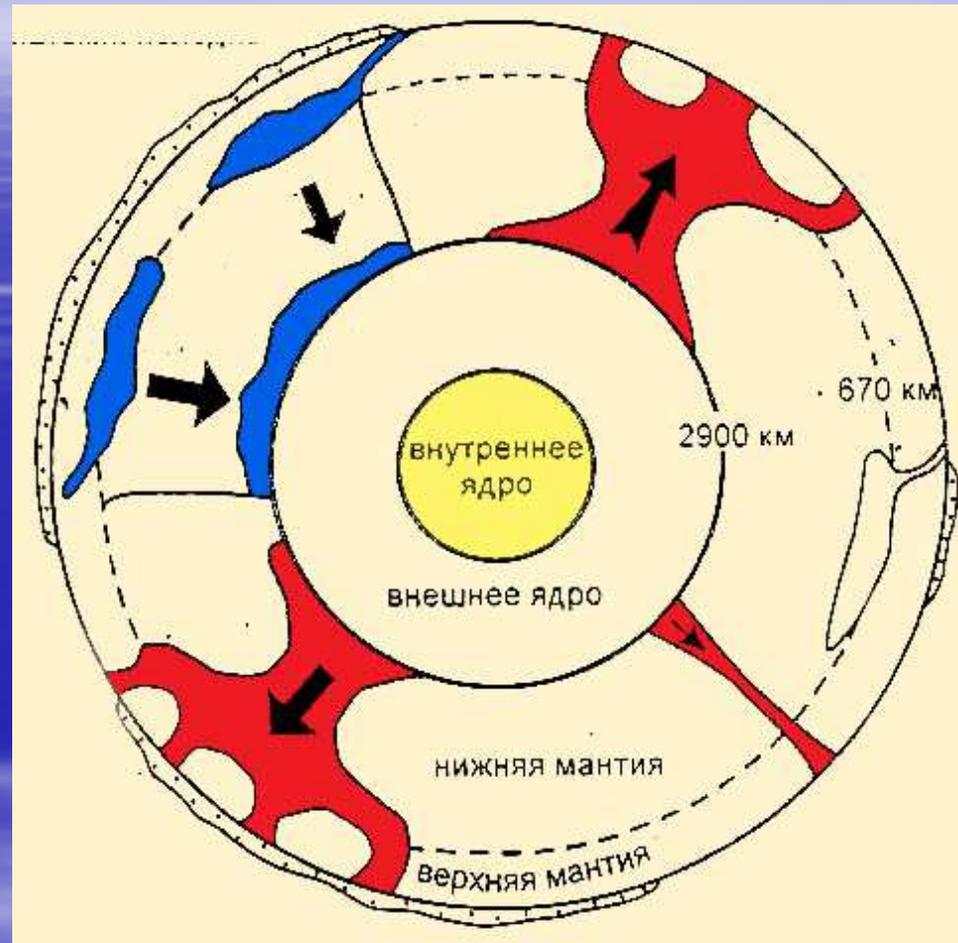
Красные и белые кружки β OIB, черные β COX



Изотопия $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ определяющие время деплетирования мантии (Кузьмин, 1987).

Нofman показал наклон значений OIB и MORB, по которому можно говорить, что время образования гетерогенности 2 млрд. лет. Кузьмин показал график изменения первичного состава $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ до значения MORB – 2 млрд. лет, а OIB – остается равное первичной мантии. 2000 млн. лет – формирование гранитов рапокиви.

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

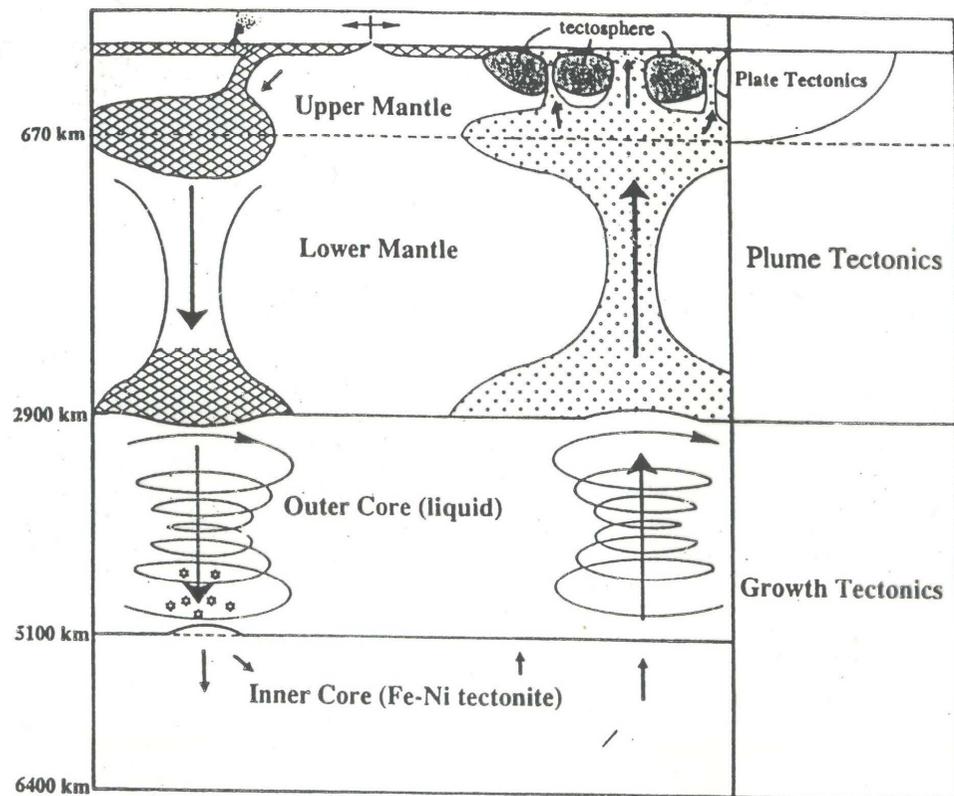


Плюм от границы ядро-мантия (слой D'') поднимается до границы верхней-нижней мантии, распадается на серию мелких плюмов, которые поднимаются до поверхности Земли, образуя большие провинции магматических (LIP) внутриплитовых пород. Плюмы участвуют в процессе рециклинга литосферы.

К новой парадигме.

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

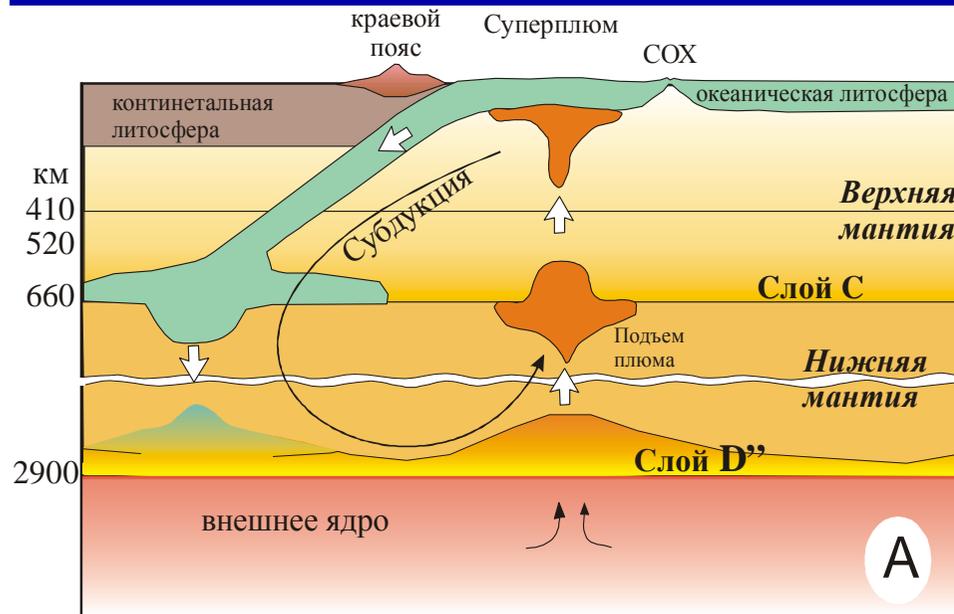
Towards a new paradigm



Важными для дальнейших построений являются два факта

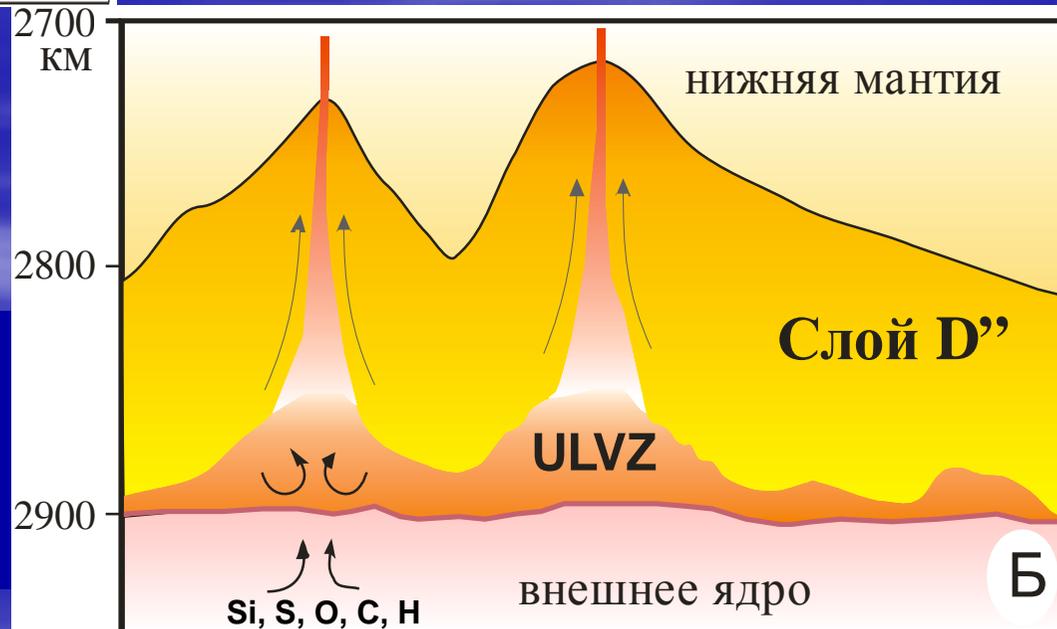
- 1) В переходной зоне (410-670 км) находятся два минерала вадзлеит и рингвудит – главные аккумуляторы воды, запасы которой превышают объем Мирового океана.
- 2) Внутреннее ядро имеет плотность 12,5 г/см³; внешнее – 11 г/см³. Плотность внешнего ядра на 10 % меньше плотности расплава Fe с доставкой Ni 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.

Обмен веществом между различными слоями мантии Земли.

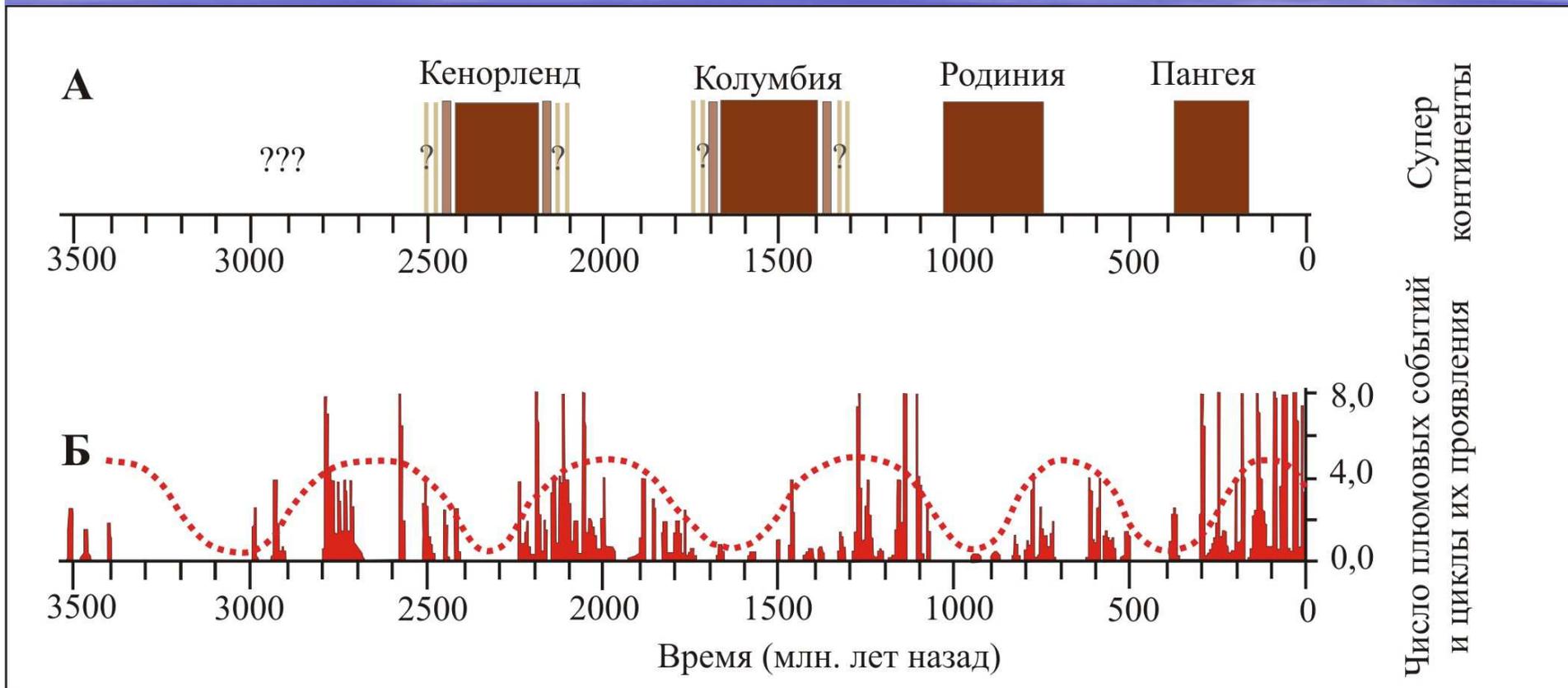


В начале XXI века было установлено [Zhao, 2001; 2007; Fukao et al., 2009], что субдуцированные плиты могут опускаться до переходной зоны нижней – верхней мантии, где стагнируется большая часть плит.

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

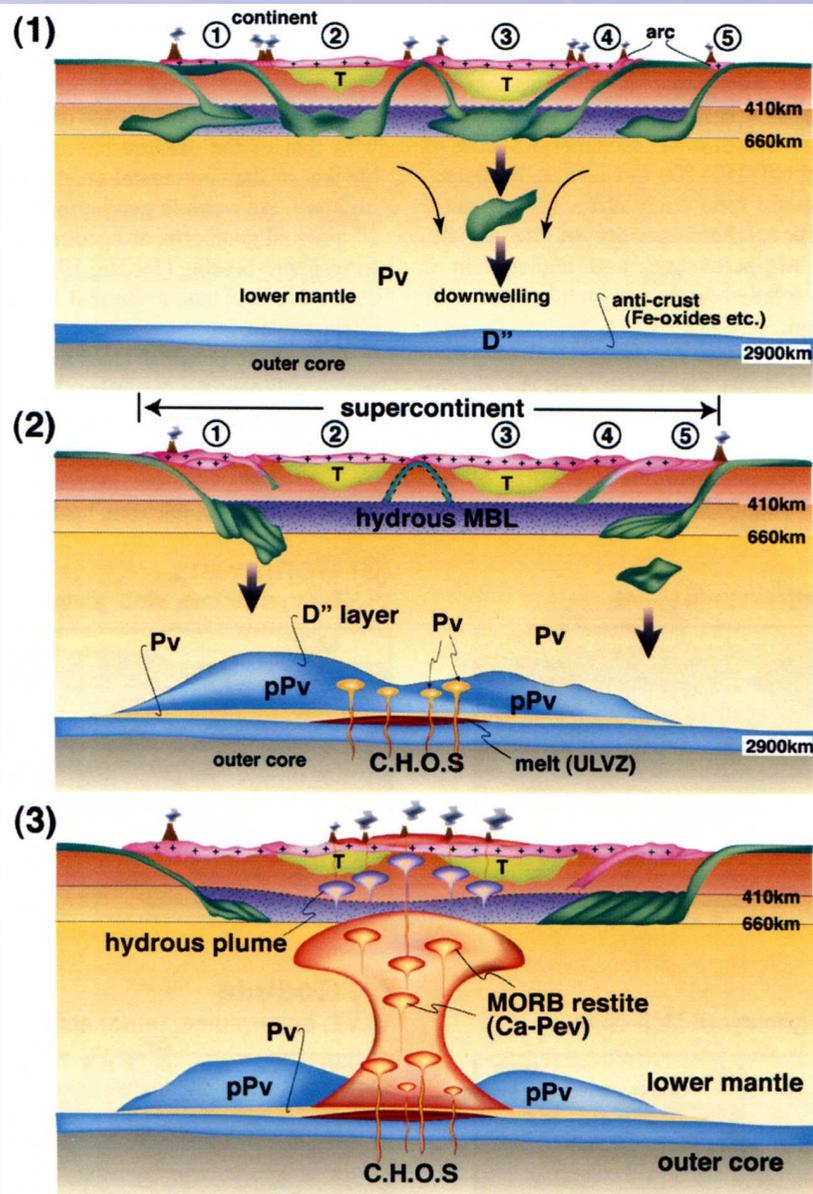


Взаимодействие суперконтинентов и плюмов.



Наиболее хорошо реконструированы истории суперконтинентов Родиния и Пангея.

Суперконтиненты – суперплюмы (лучшее доказательство связи тектоники плит и ТЕКТОНИКИ ПЛЮМОВ).



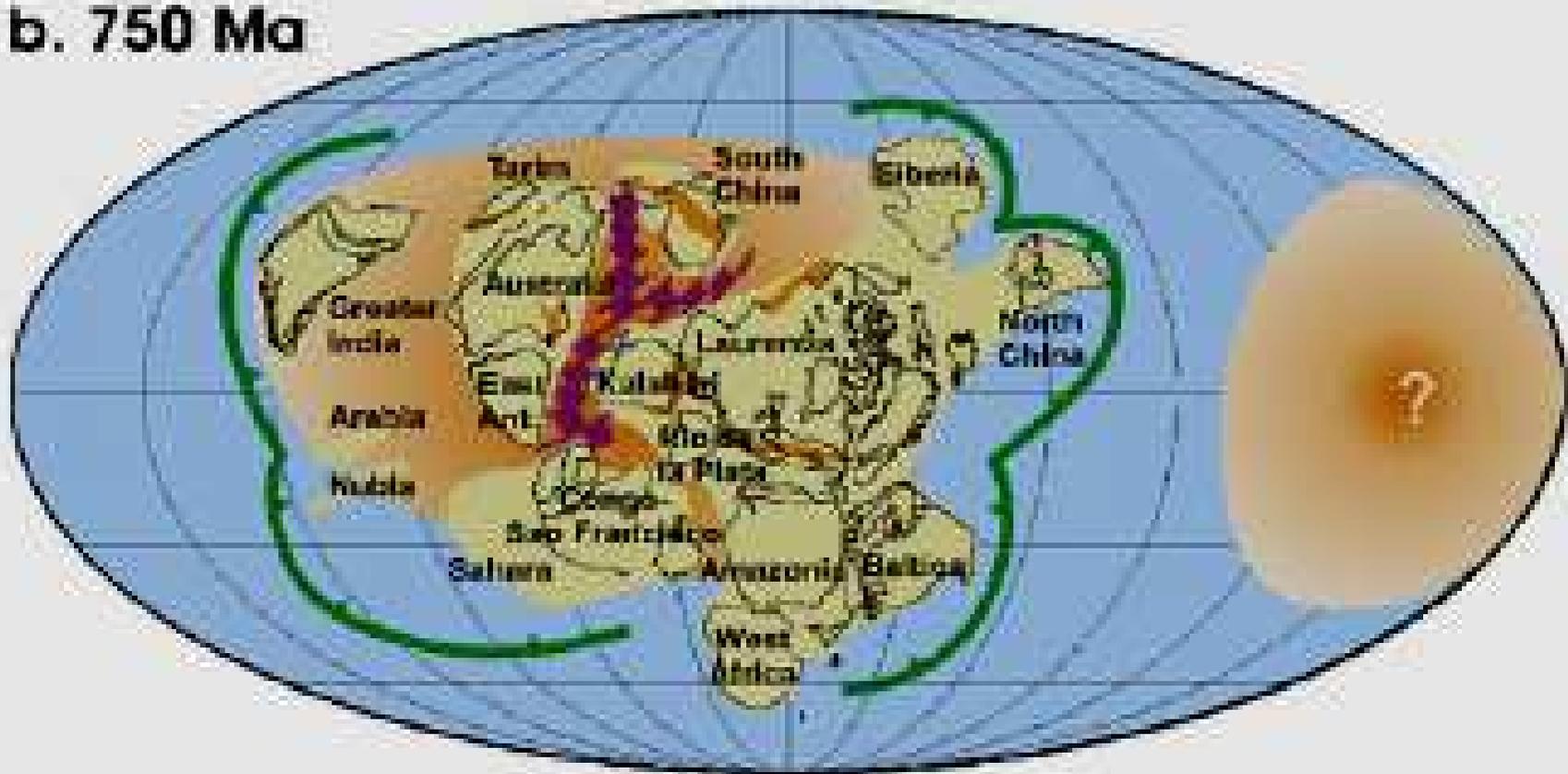
1. Формирование суперконтинента.

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.

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.

Металлогения при распаде Родинии.



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

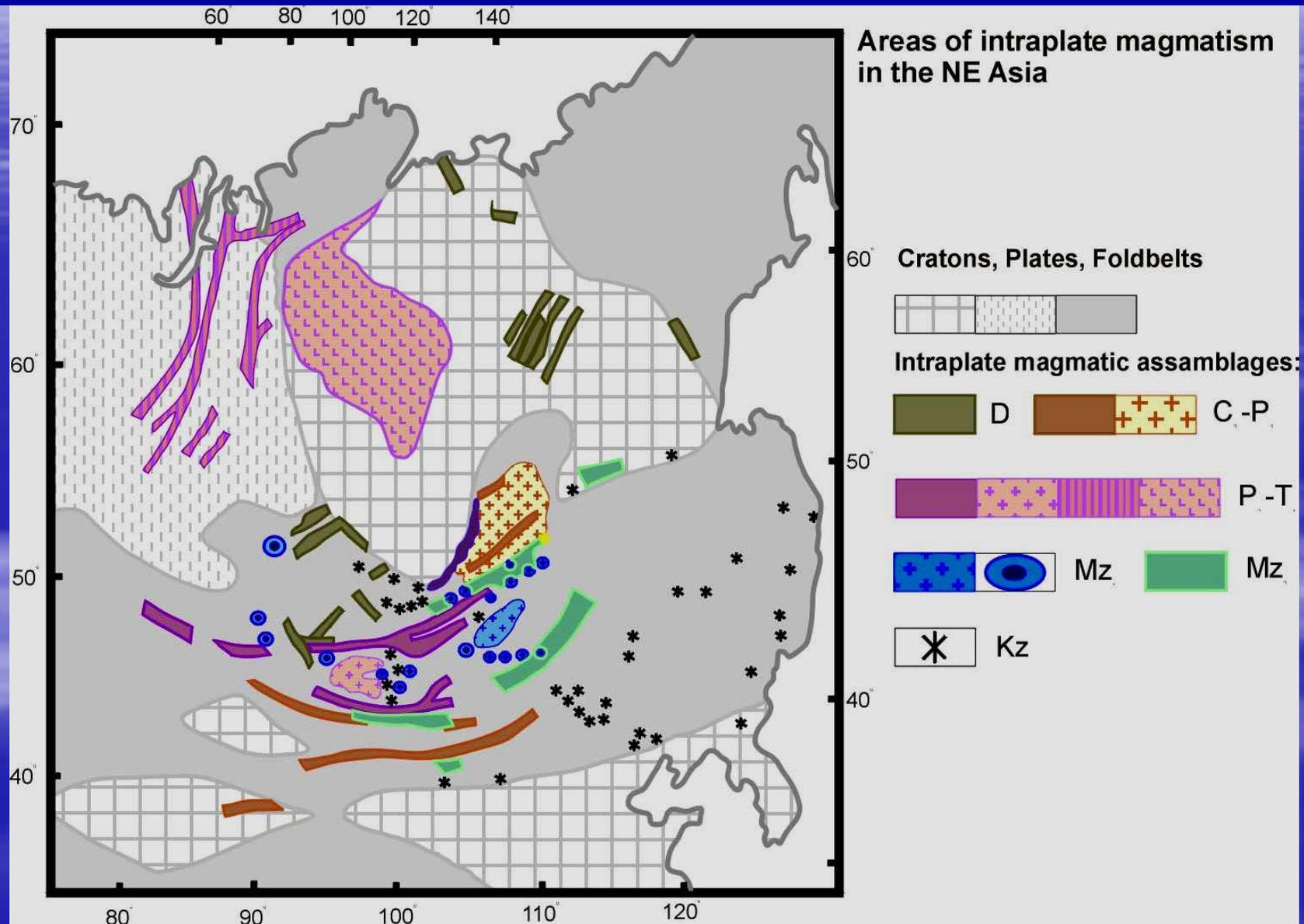
При распаде суперконтинентов под влиянием суперплюмов формируются

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.

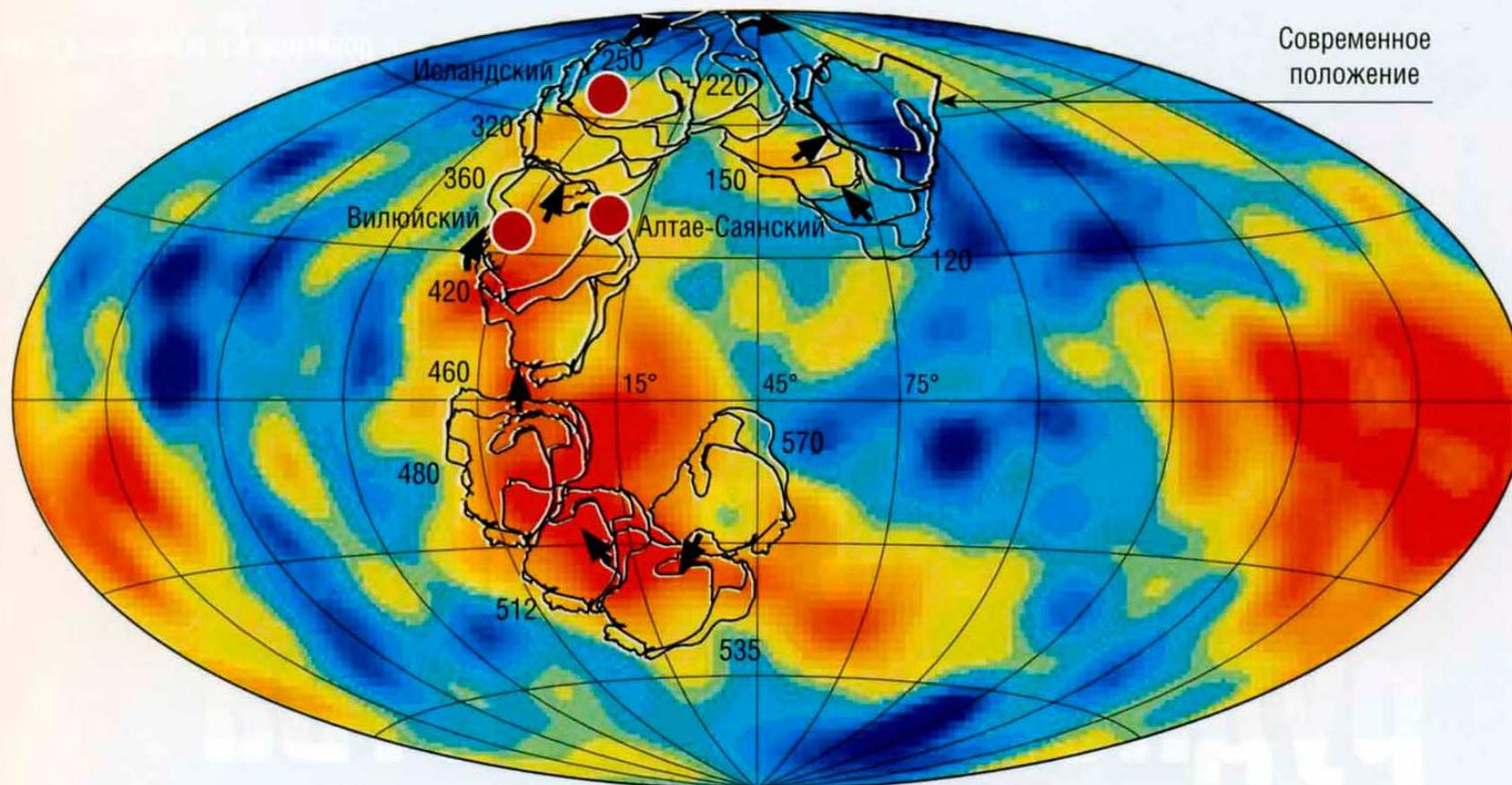


Используя положения ареалов разновозрастных внутриплитовых пород были выполнены абсолютные палеорекострукции Сибирского континента в фанерозое.

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).

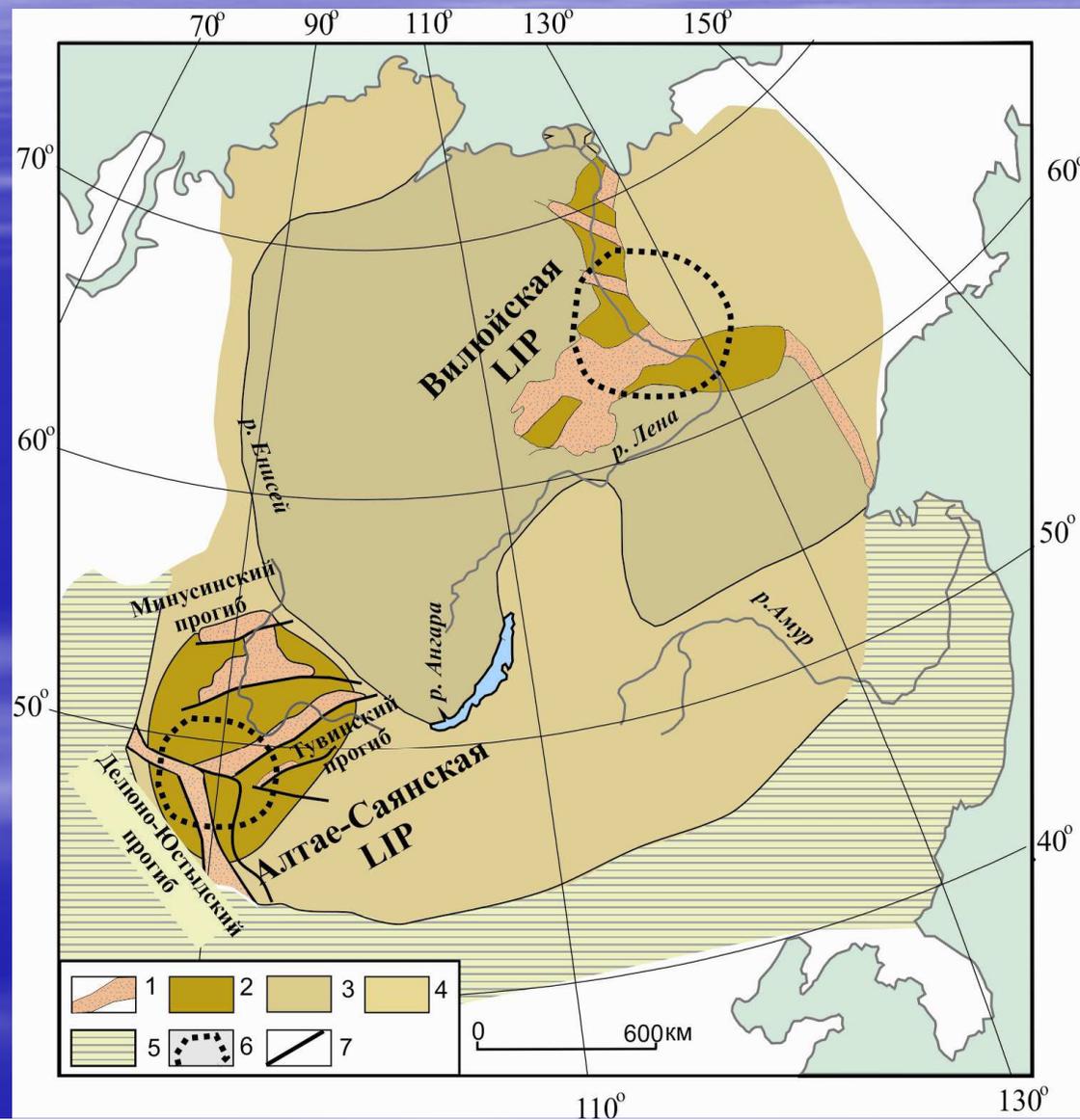


На основе палеорекострукции получена схема миграции Сибирского континента над Африканской мантийной провинцией за последние 570 млн лет.
 По: (Kuzmin et al., 2010)

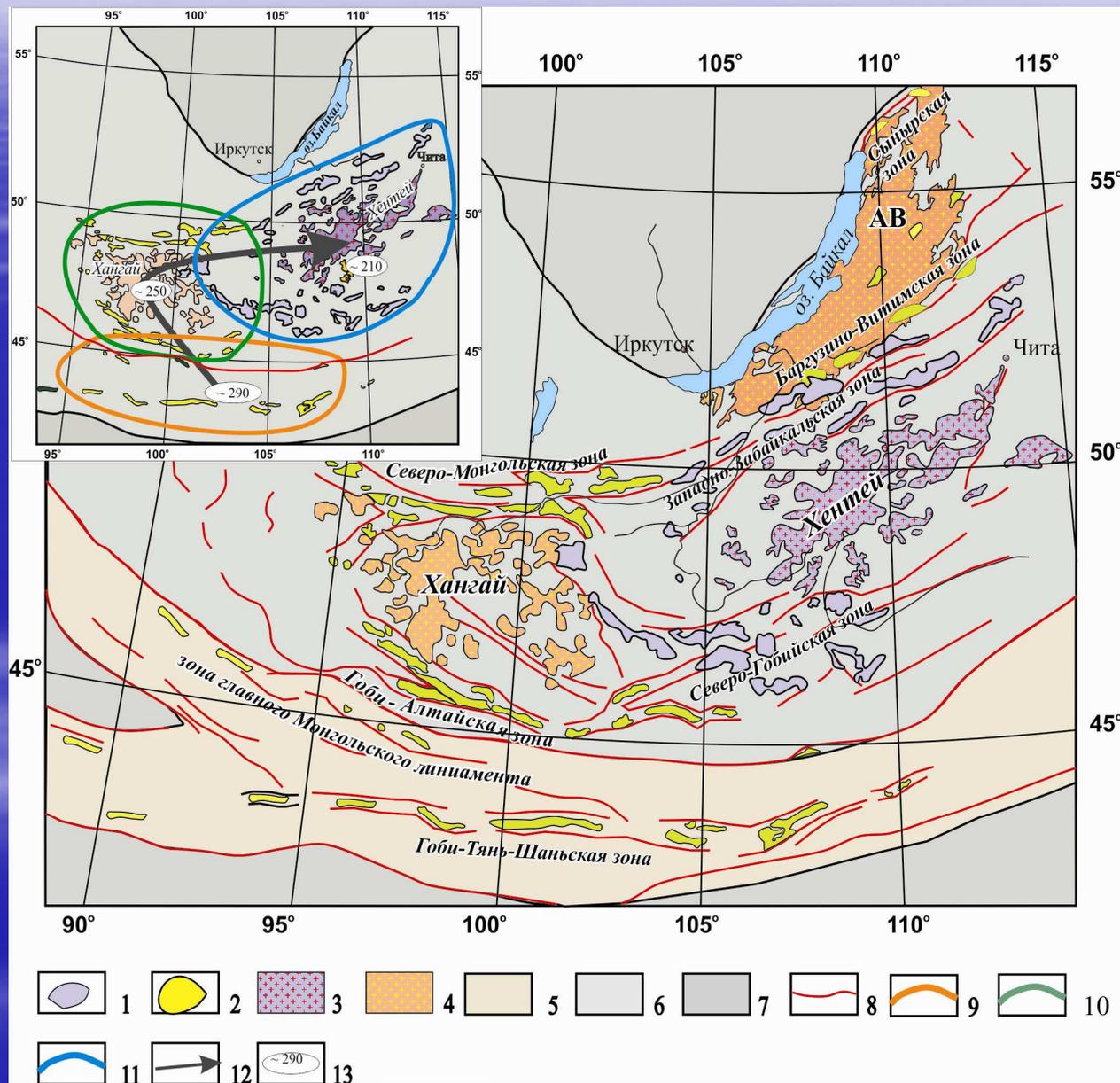
- ➔ Перемещение континента
- 220 Возраст в млн лет, отвечающий положению континента
- Мантийные плюмы

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.

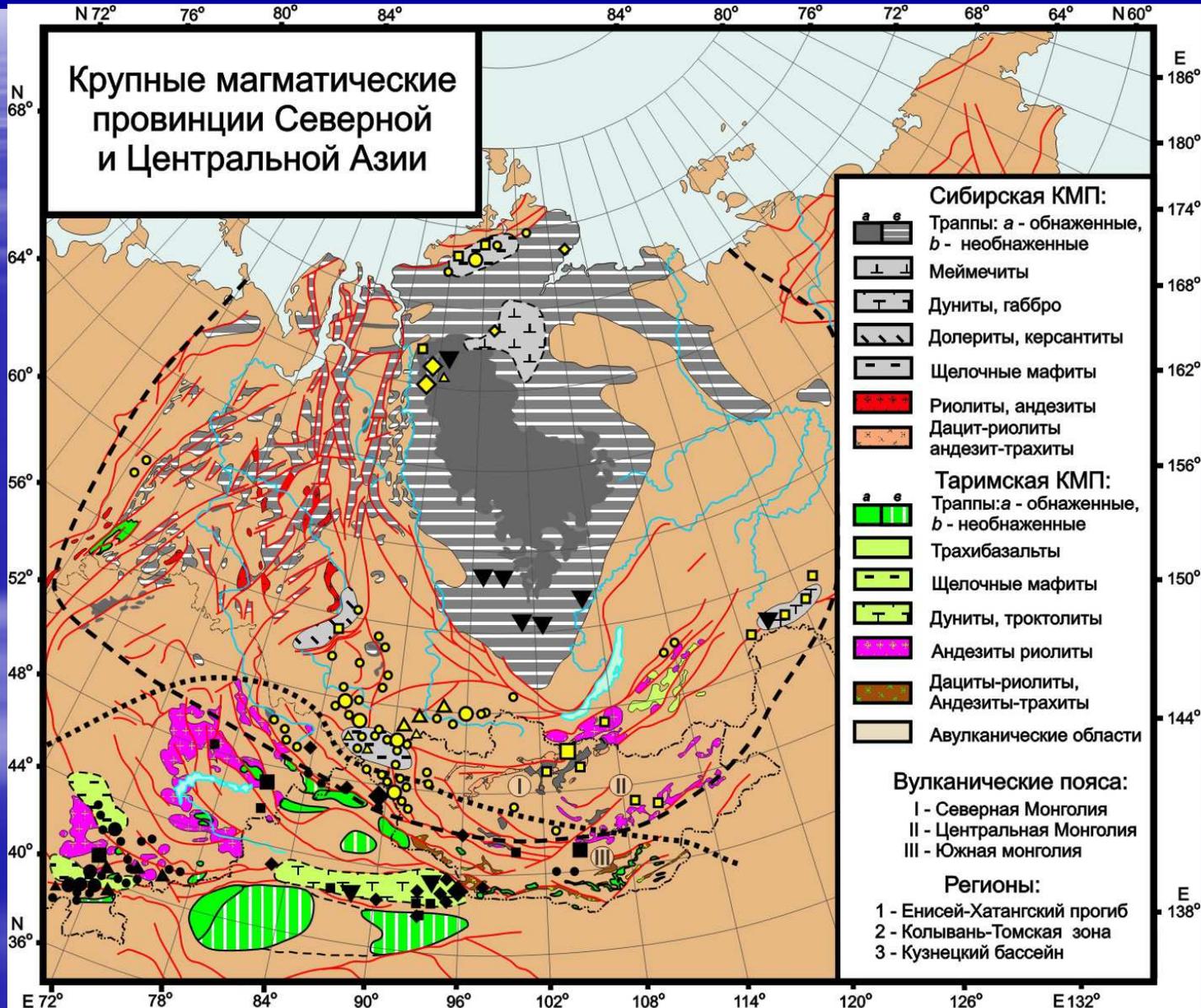
Формирование Алтае-Саянской и Вилюйской внутриплитовых провинций.



Позднепалеозойские-раннемезозойские внутриплитовые магматические провинции.



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-Mo-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-Mo-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

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

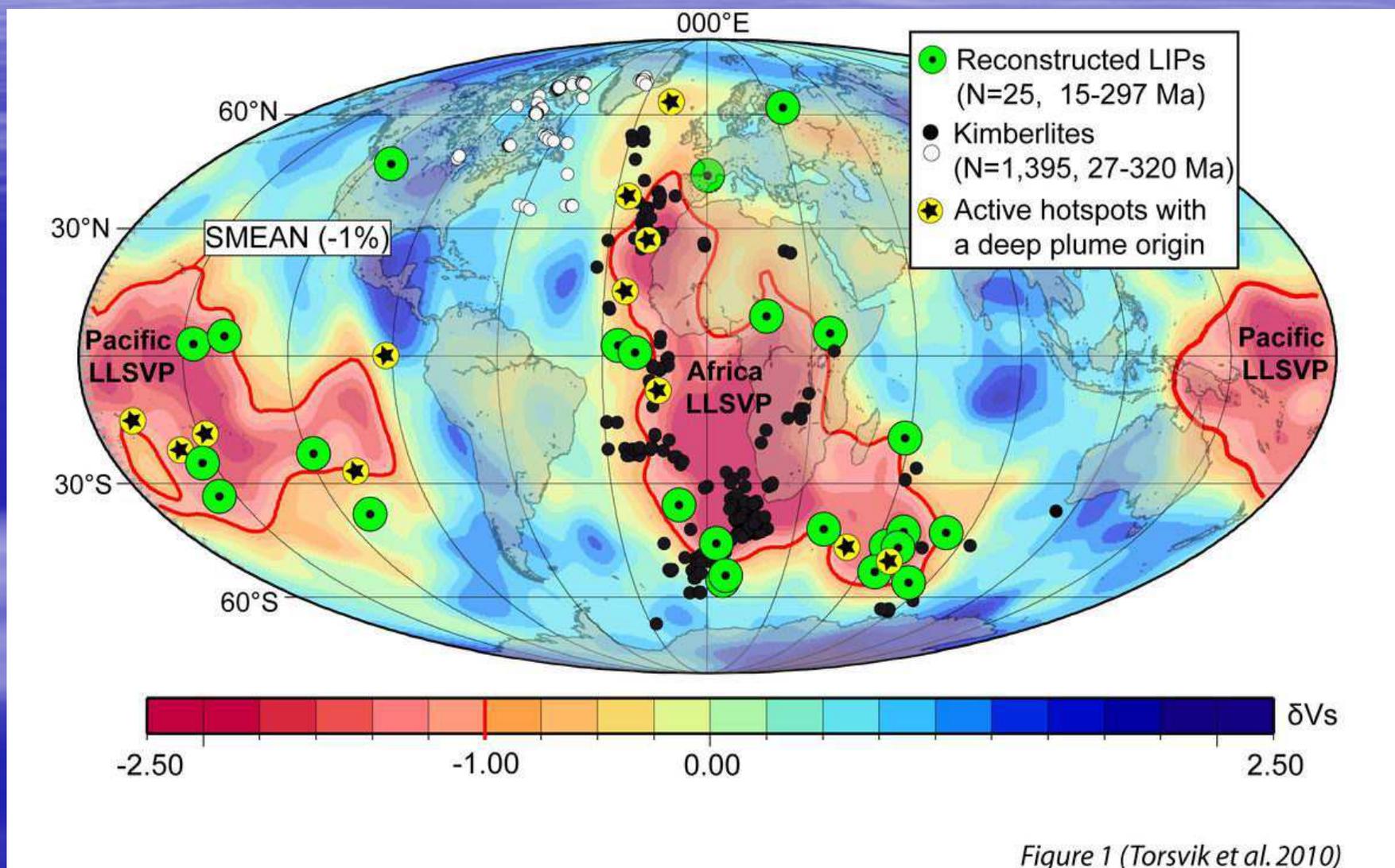
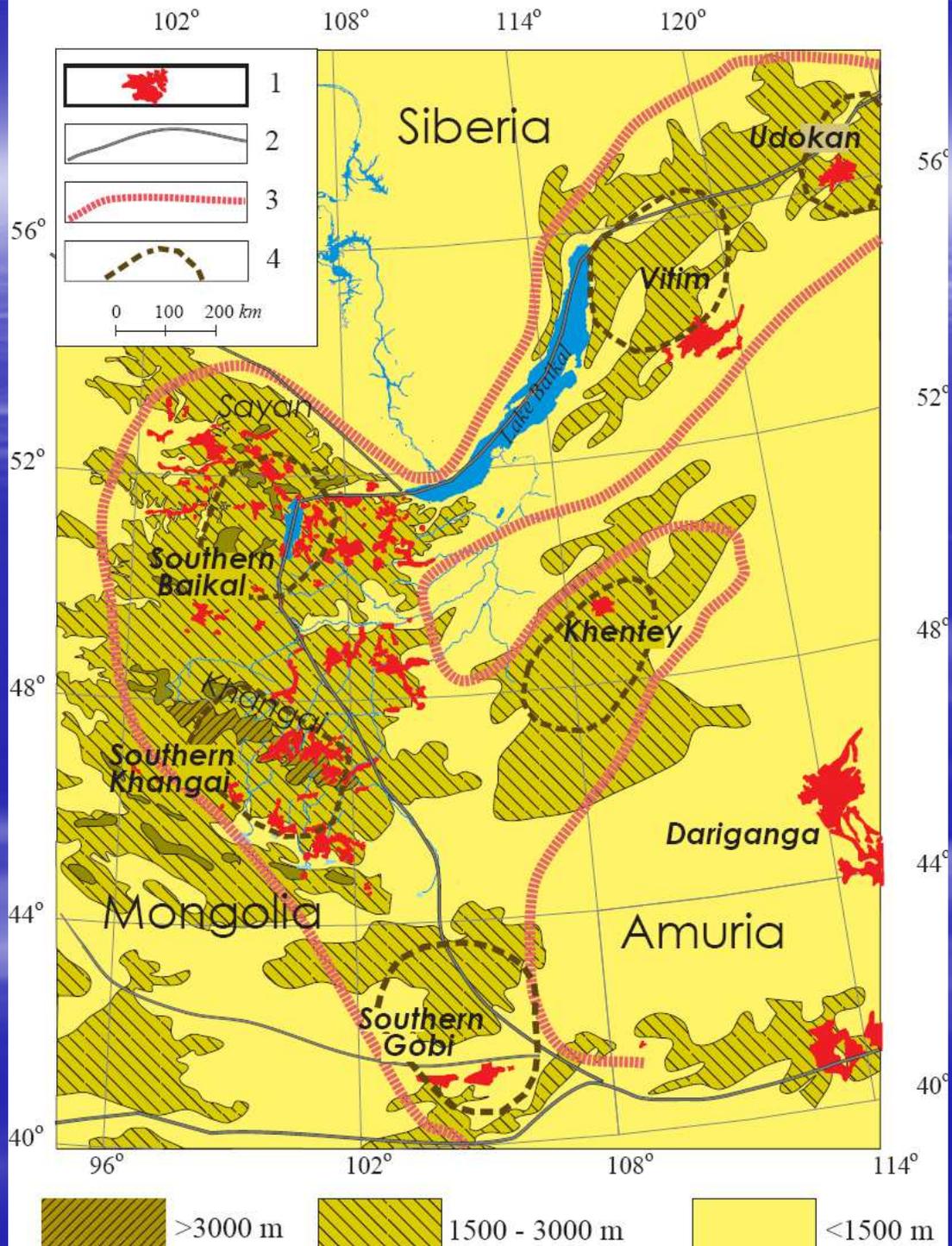
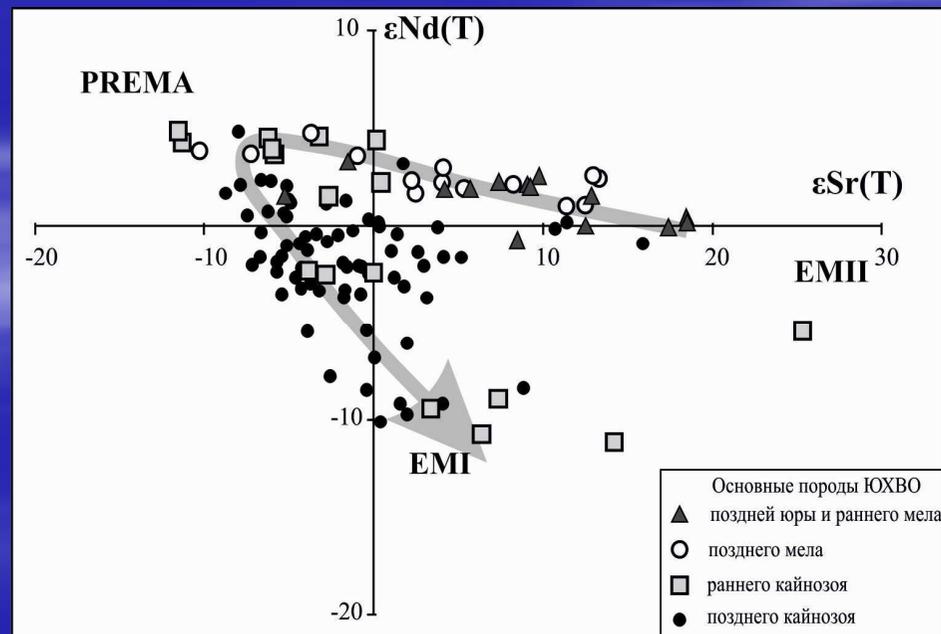
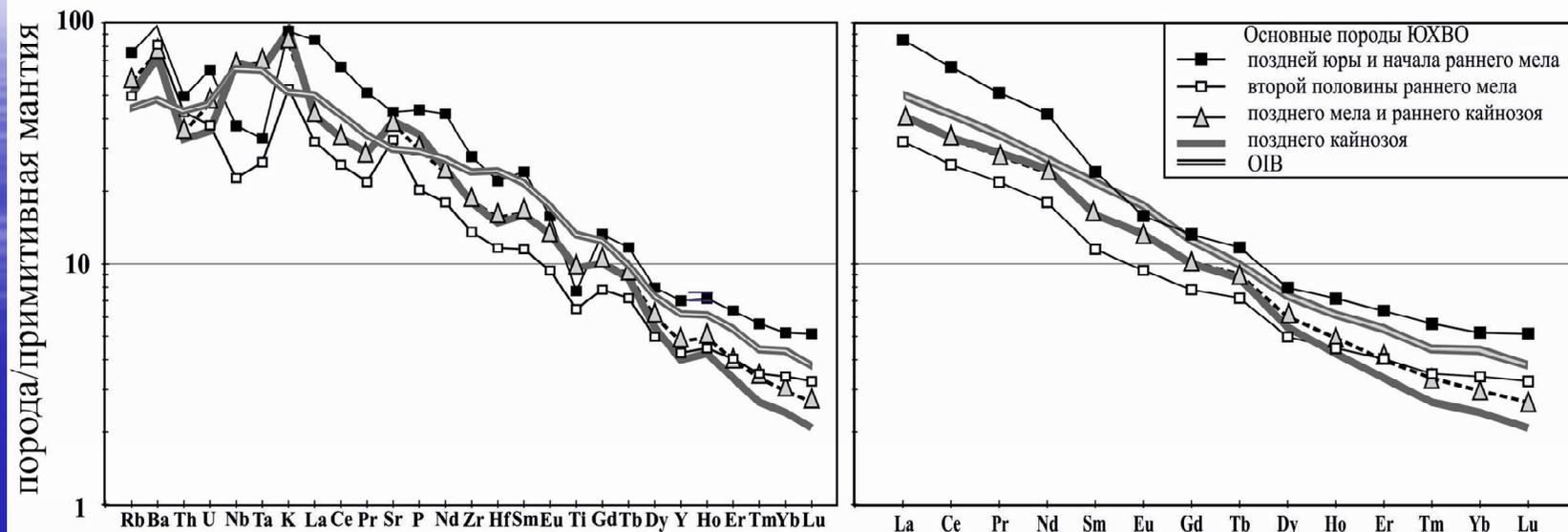


Figure 1 (Torsvik et al. 2010)

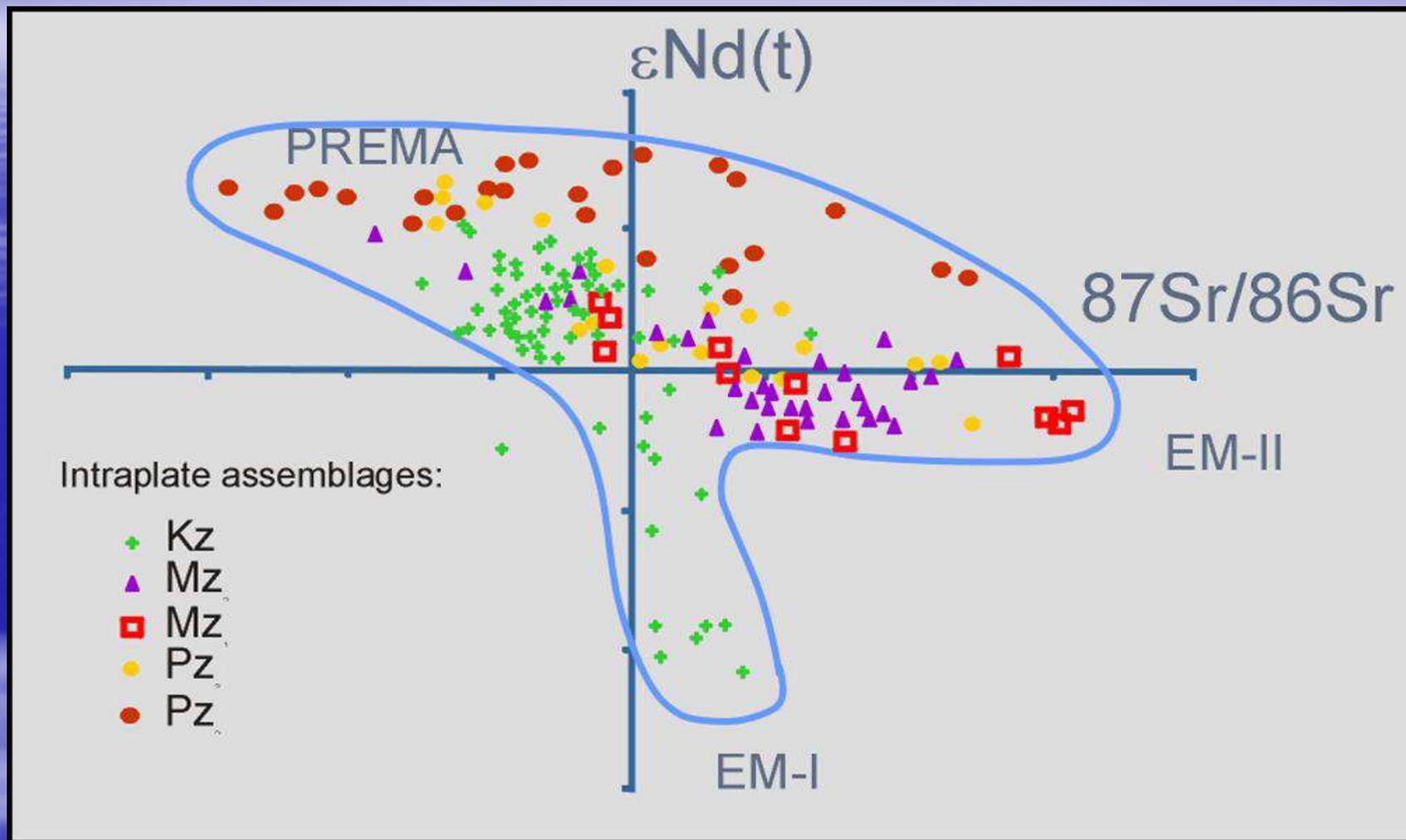


Позднекайнозойская и кайнозойская эпоха.

Позднемезозойская - кайнозойская эпоха



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

1) Проведенные исследования показали, внутриплитовая активность первоначально была связана с расколом в Сибири Родинии Родинийским плюмом. С этой фазой развития Сибирского континента связано формирование ультраосновных базитовых интрузий с Cu-Ni-Pt минерализацией, а так же ультраосновных интрузий с карбонатитами. В дальнейшем Сибирь попала в зону влияния Африканского горячего поля мантии и отвечающего ему LLSVP и длительно она мигрировала над ним. В позднем мелу и позднем кайнозое плюмовый магматизм Северо-Восточной Азии проявился в связи с перекрытием континентов восточного окончания Тихоокеанского горячего поля мантии.

2) Длительность существования Африканского горячего поля мантии [Kuzmin et al., 2010] позволило реконструировать позицию горячих точек, определивших проявление крупных изверженных провинций на Сибирском континенте. Это следующие горячие точки: Исландская, Алтае-Саянская, Вилюйская, Монгольская, каждая из которых сыграла свою роль в развитии внутриплитового магматизма и проявлении месторождений полезных ископаемых с каждой конкретной горячей точкой.

3) Непрерывность внутриплитового магматизма в Сибири позволяет говорить о возрастной непрерывности существования Африканской низкоскоростной мантийной провинции, по крайней мере, не менее 600-700 млн. лет. Учитывая длительность существования Тихоокеанского горячего поля мантии (порядка 1 млрд. лет) [Yuen et al., 2007] можно говорить о том, что эти глубинные структуры являются наиболее долгоживущими на Земле.

Заключение

4) Очевидно, что внутриплитная активность играет столь же важную роль в эндогенных процессах, что и процессы на конвергентных границах. Это вполне объяснимо, так как субдукционные и плюмовые мантийные потоки являются равнозначными ветвями единой системы мантийной конвекции Земли. Понимание того, что области внутриплитной активности также являются участками разгрузки эндогенной энергии, в определенной степени перестраивает стратегию и тактику металлогенических построений

5) В настоящее время можно говорить о разных формах проявления плюмовой активности в геологической истории Сибири и ее складчатого обрамления. Одна из них сопровождается крупнообъемными излияниями базальтов (трапповые провинции), другая связана с образованием крупных зональных магматических ареалов с батолитовыми ядрами.

6) Соответственно с разными формами проявления активности мантийных плюмов различаются и металлогенические их особенности. Для трапповых провинций характерно, прежде всего, магматическое Cu-Ni-Pt и Fe-Pt оруденение. Металлогеническая специализация зональных магматических ареалов определяется широким участием коровых компонентов в источнике магм. Основной рудно-магматический профиль таких ареалов связан с редкими элементами и металлами (Be, Ta, Nb, Zr, Li, Sn, W) и редкоземельными элементами. Рудоносными для них являются глубоко дифференцированные гранитоиды – щелочные и Li-F гранитоиды и их вулканические аналоги связанные со структурами рифтового обрамления батолитов.

7) Следует заметить, что при анализе эволюции и становления современных континентов необходимо учитывать как процессы, связанные с границами литосферных плит, так и активность суперплюмов, определяющих внутриплитную активность в их пределах.

Спасибо за внимание!

20 12:26