

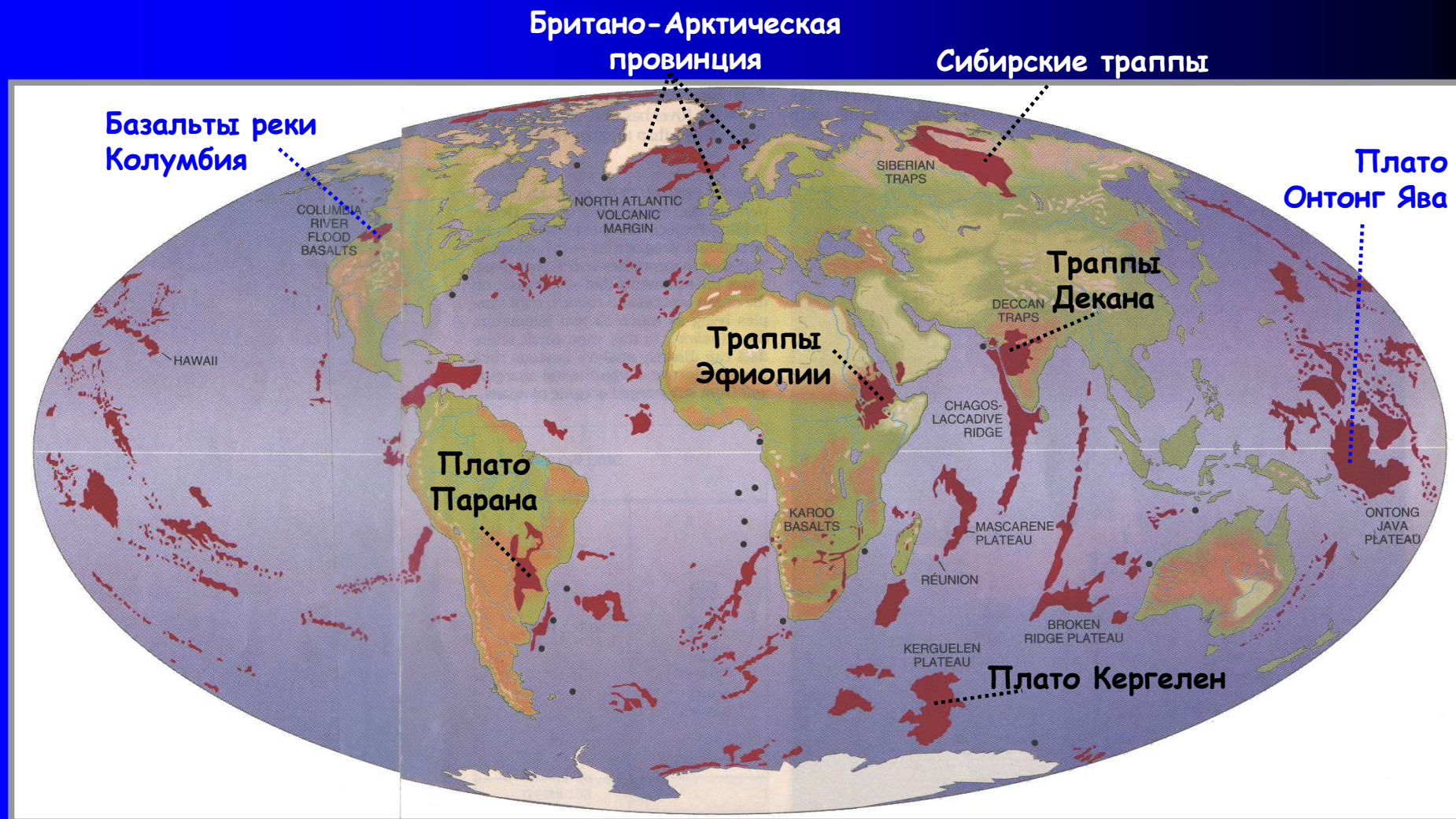
Тема занятия:

**ФОРМАЦИИ ПЛАТОБАЗАЛЬТОВ ЗЕМЛИ
или
“Large Igneous Provinces” - LIPs**

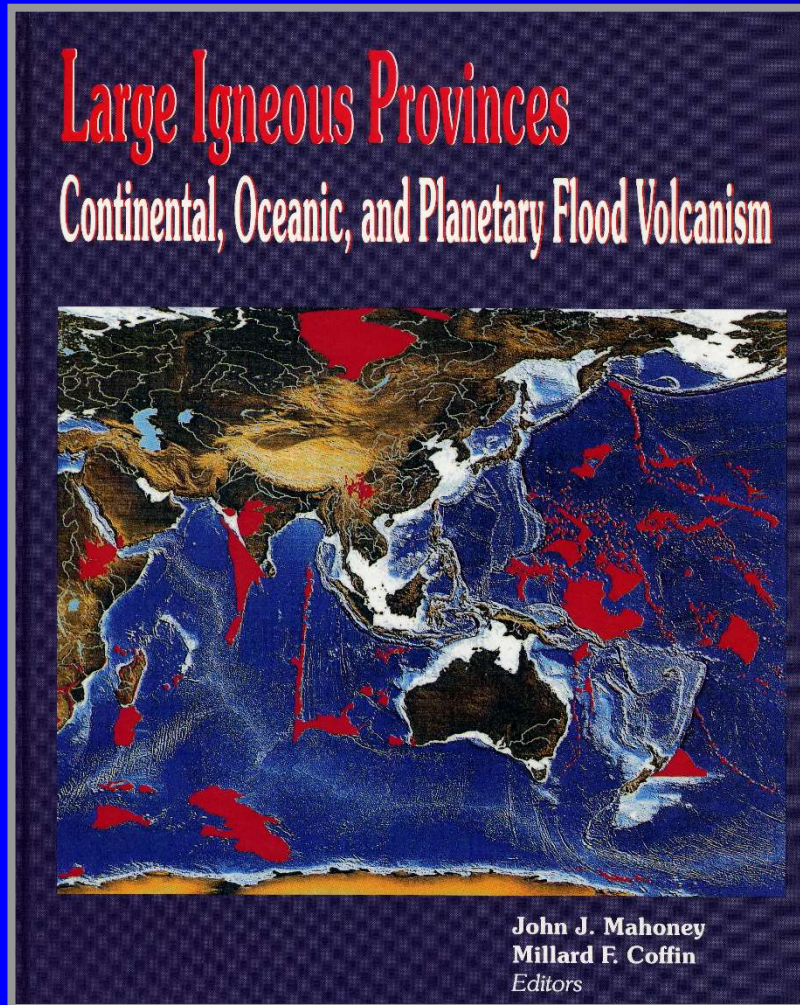
Лекция № 17

**ОКЕАНИЧЕСКИЕ ПЛАТО И
КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ТРАПТЫ**

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРЯЧИХ ТОЧЕК И КРУТНЕЙШИХ ПЛАТОБАЗАЛЬТОВЫХ ФОРМАЦИЙ



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ КРУПНЫХ ПЛАТОБАЗАЛЬТОВЫХ ПРОВИНЦИЙ (LIPs)



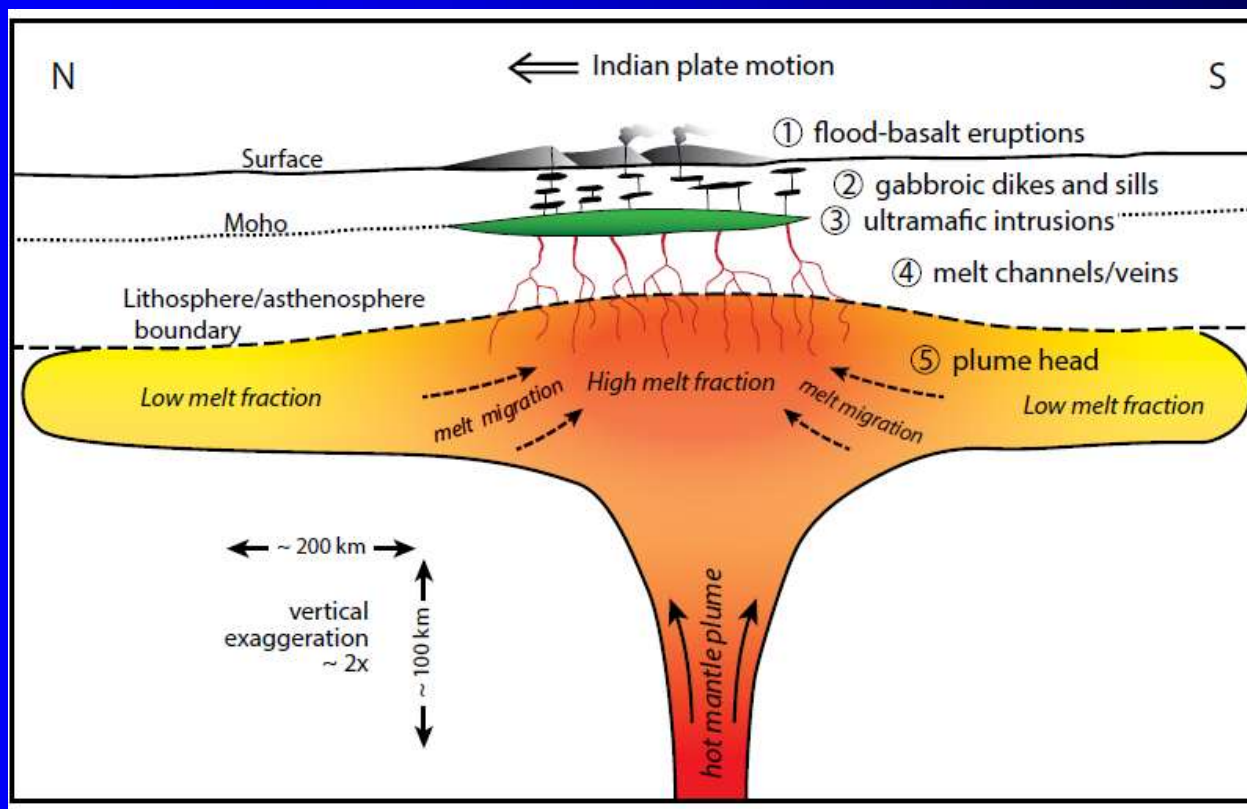
1. Океанические плато и некоторые окраины континентов являются подводными аналогами континентальных трапповых формаций.
2. Все эти провинции характеризуют крупнейшие события магматизма в мезозойско-кайнозойской истории Земли.
3. Признание определяющей роли крупных мантийных плюмов в зарождении и эволюции плато-базальтовых магм.
4. Значение провинций платобазальтов как важного фактора утолщения и роста континентальной коры.

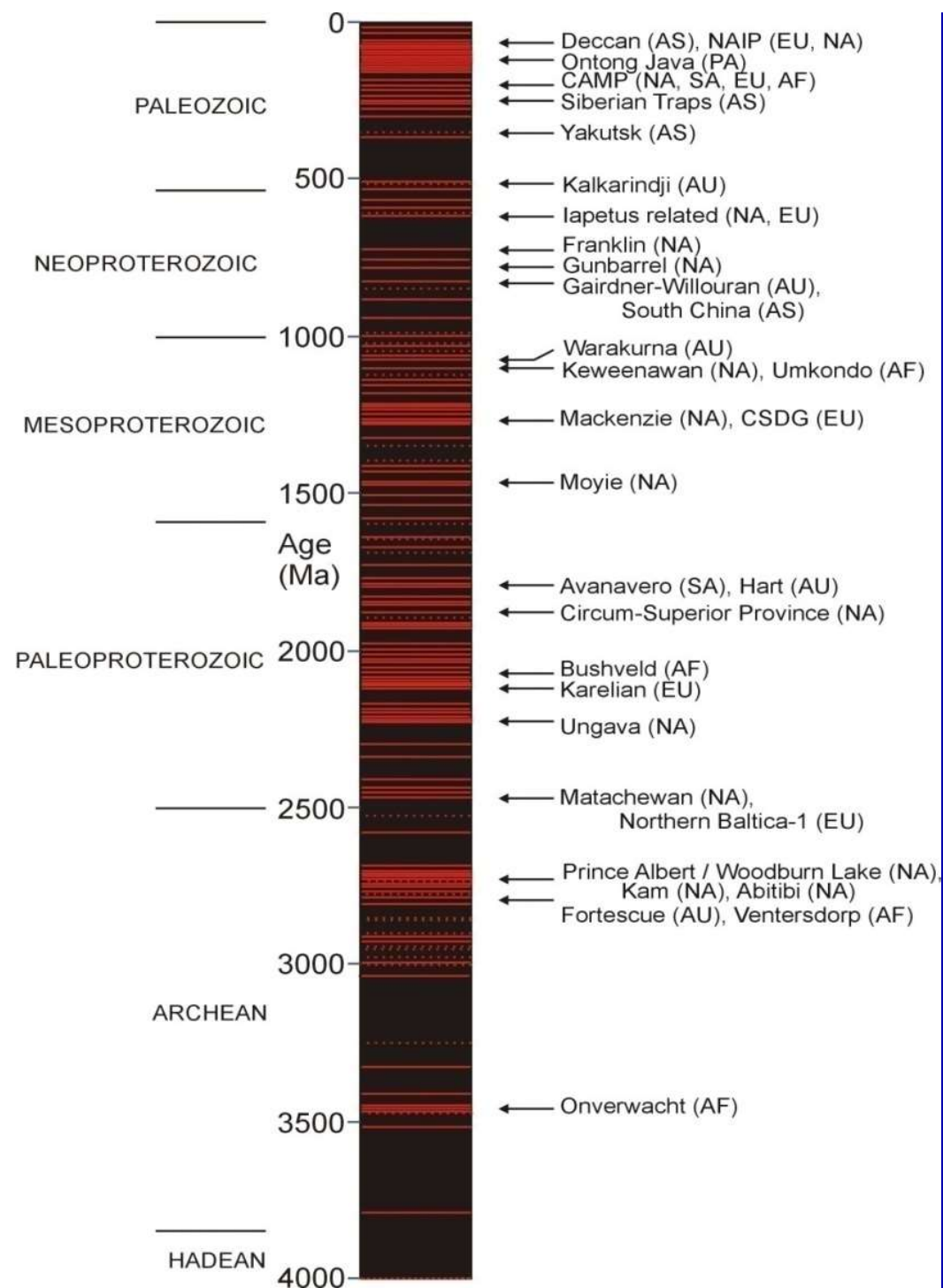
ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ LIPS

эффузивные: покровные базальты (*flood basalts*);

интрузивные: дайки, силлы и расслоенные комплексы

мантийно-коровые: магматические камеры на границе коры и мантии, т.н. "*magmatic underplate*"





Записи LIPS в геологической истории Земли

Средняя частота образования -
одна за 20-30 миллионов лет

Роль LIPS в эволюции Земли

Связь с вымиранием фауны

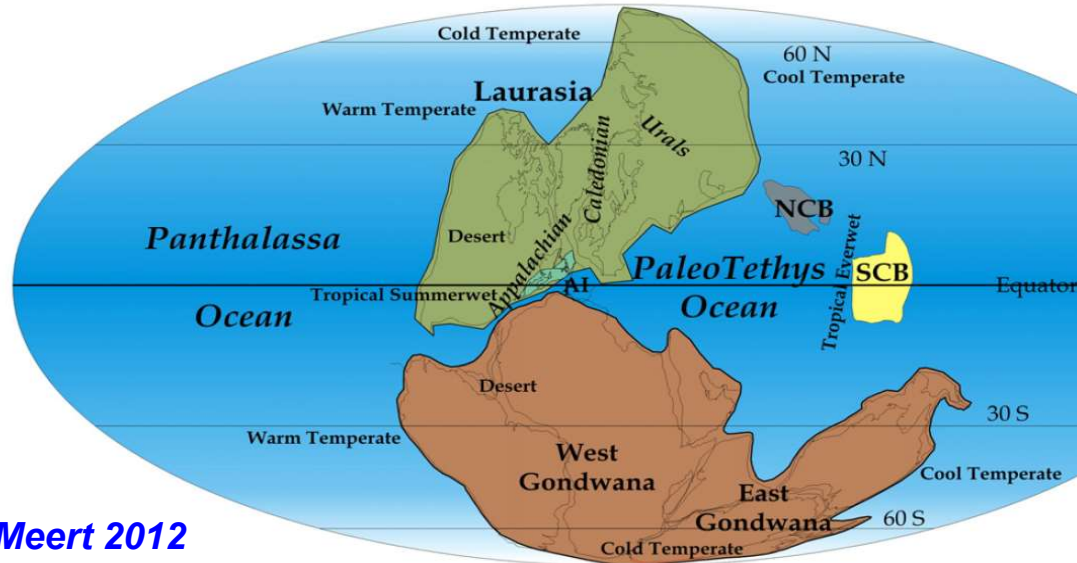
Связь с региональными
поднятиями – *т.н. сводами*

Причина рифтогенеза и раскола
материков

Связь с месторождениями
(магматическими и
гидротермальными), *возможно – с
нефтегазовыми*

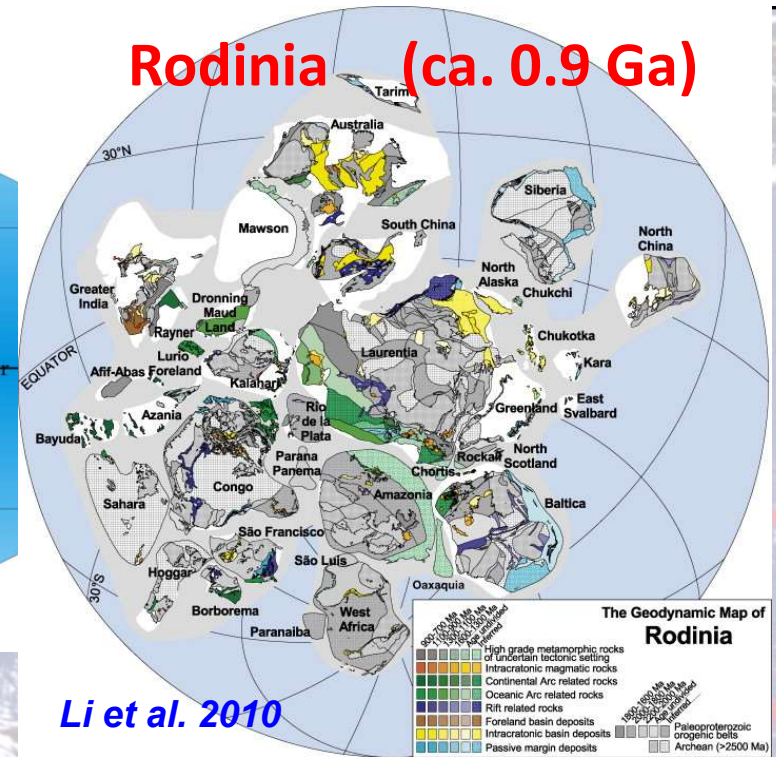
Планетарные и Архейские аналогии

Pangaea (~260 Ma)



Meert 2012

Rodinia (ca. 0.9 Ga)



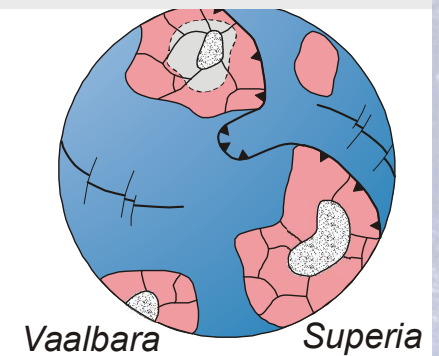
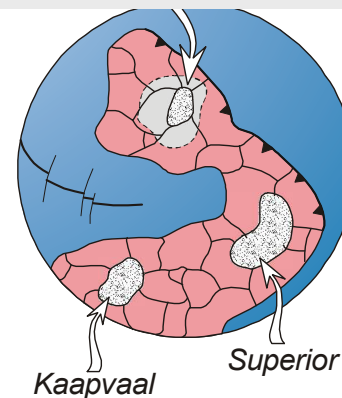
Li et al. 2010

Nuna/Columbia (ca. 1.7 Ga)

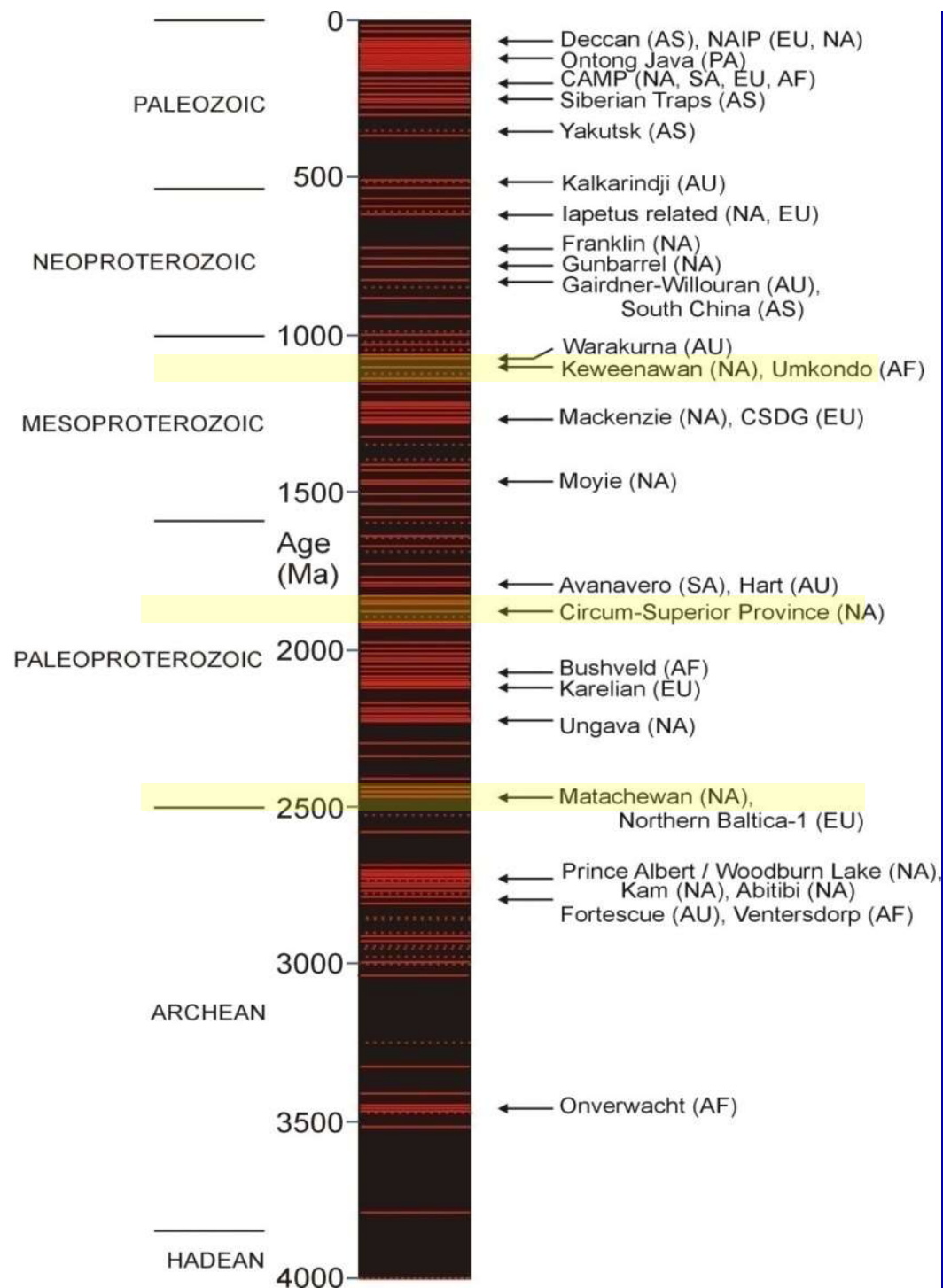


Zhang et al 2012

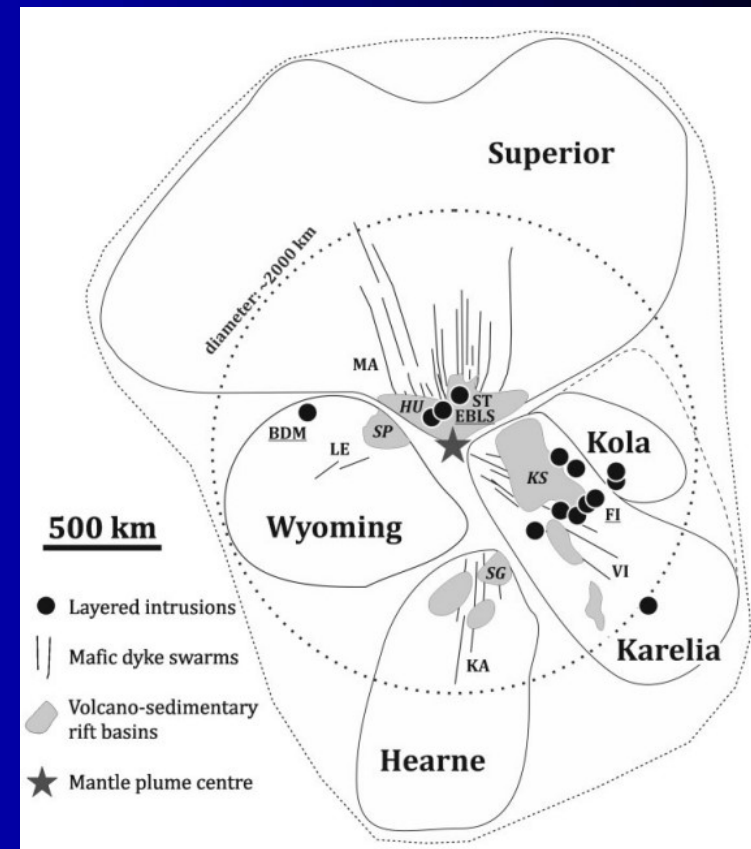
Late Archean



Bleeker 2003



Раннепротерозойская провинция Матачеван

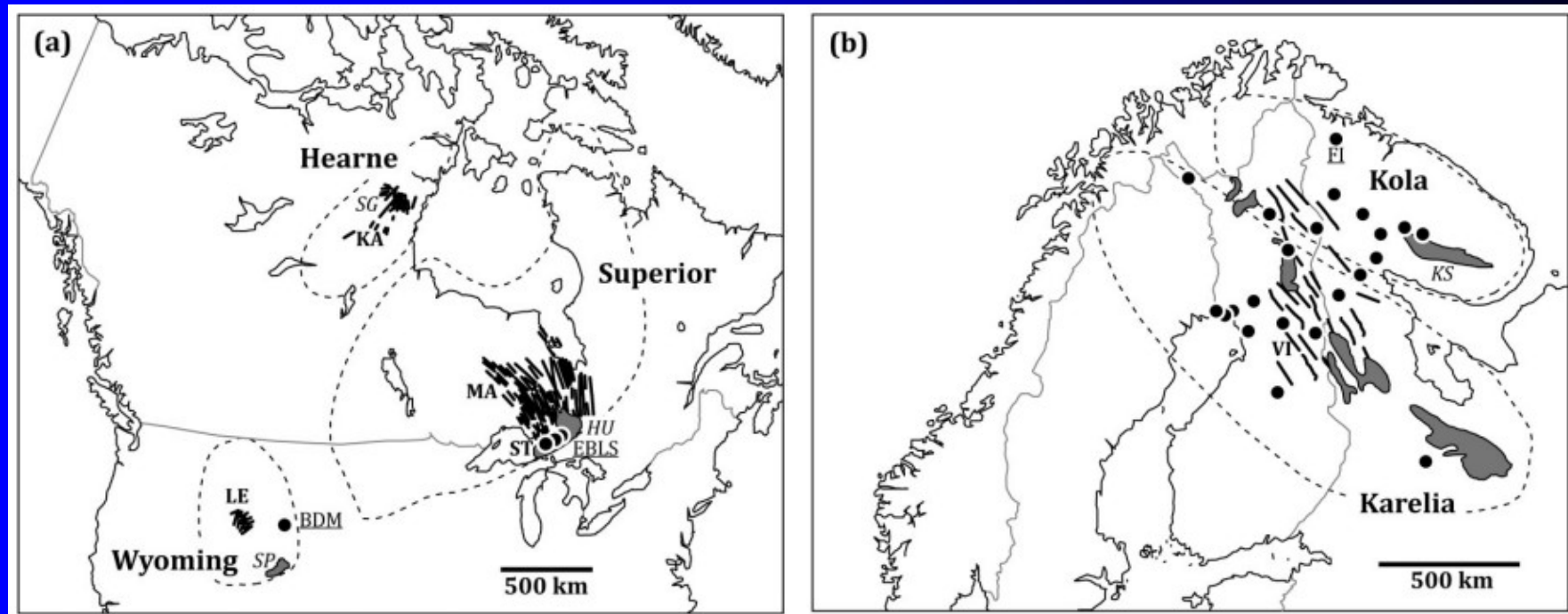


(Giborowski et al., JP-2015; modified after Soderlund et al., 2010)

Возраст провинции (Zir+Bad) ~2.45 млрд. лет и долгий распад суперконтинента Kenorland

The Early Proterozoic Matachewan Large Igneous Province: Geochemistry, Petrogenesis, and Implications for Earth Evolution

T. Jake R. Ciborowski^{1,2*}, Andrew C. Kerr², Richard E. Ernst^{3,4},
Iain McDonald², Matthew J. Minifie², Stephen S. Harlan⁵ and
Ian L. Millar⁶



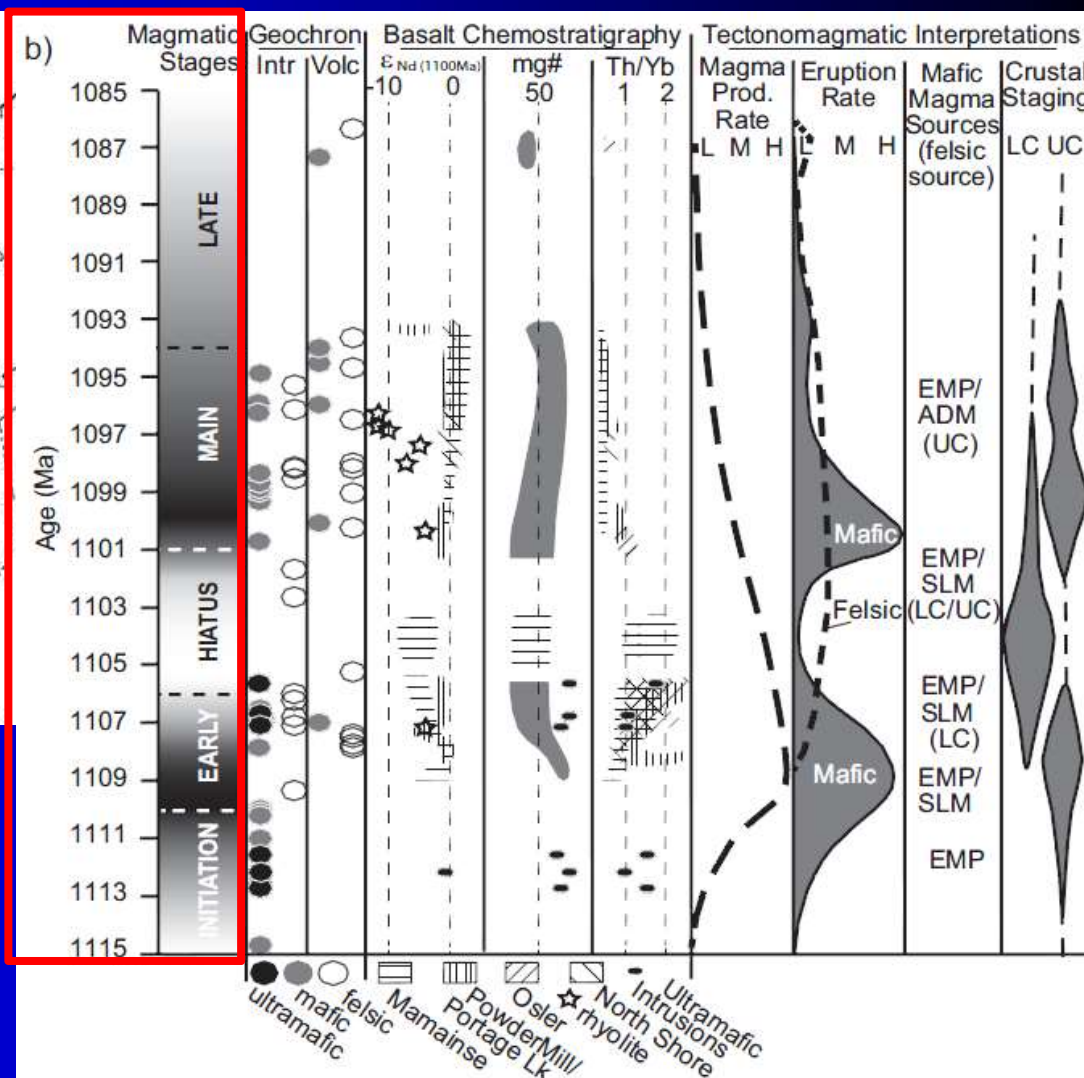
Возраст обеих провинций ~2.45 млрд. лет

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ LIPS: некоторые – десятки млн. лет



Провинция базальтов KEWEENAWAN

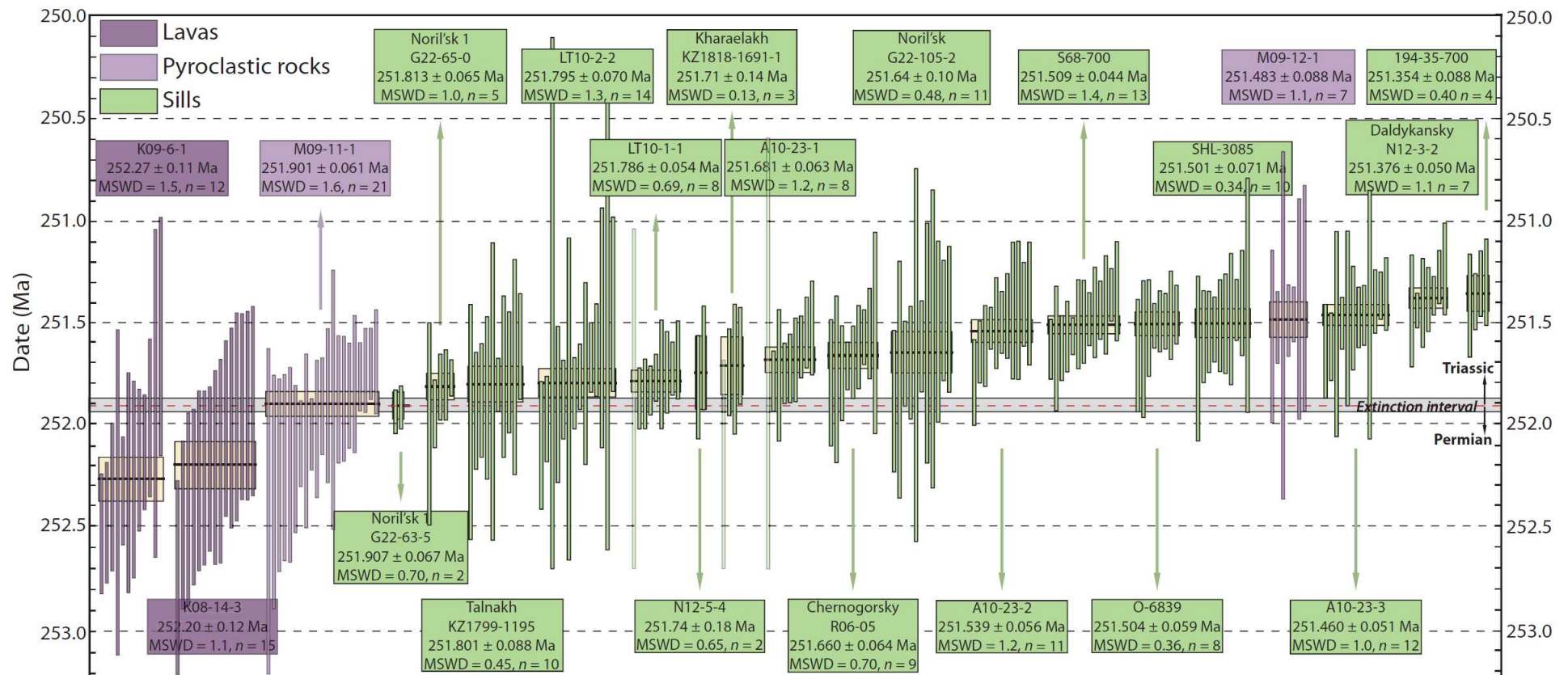
(область Великих озер, Superior):
(Мезопротерозой ~1.1 млрд. лет,
продолжительность – 30 млн. лет)



ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ LIPS: большинство - первые млн. лет

Siberian Trap, Deccan, Emeishan, and
Karoo are <2 Ma - U-Pb dating,
and match extinction events

(after Burgess and Bowring, 2015)

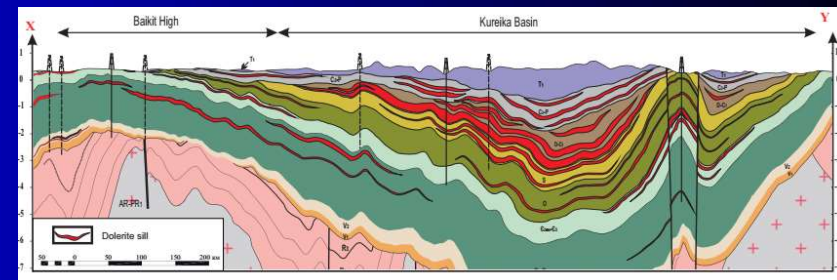
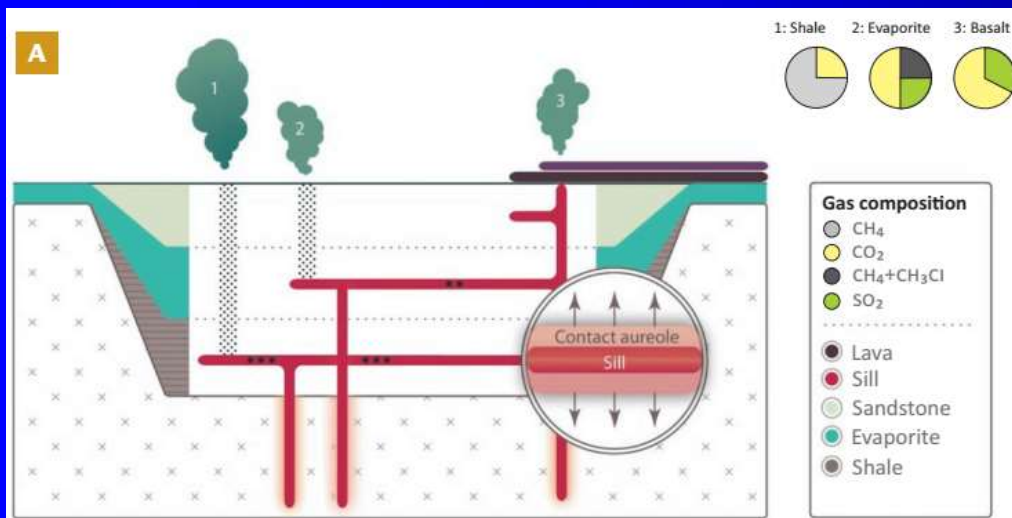


ВЛИЯНИЕ LIPS НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

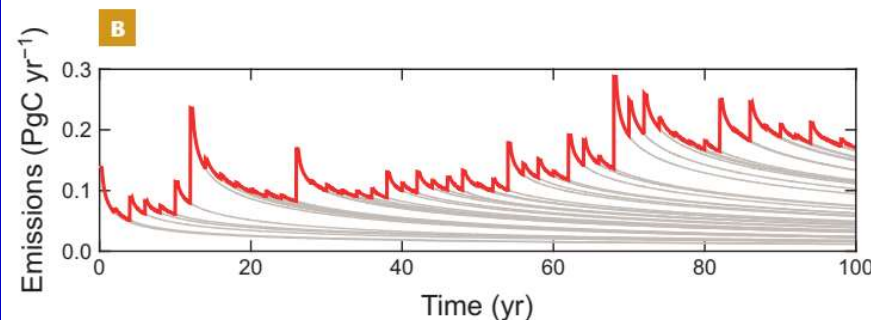
Large Igneous Provinces and the Release of Thermogenic Volatiles from Sedimentary Basins

Henrik H. Svensen¹, Morgan T. Jones¹, and Tamsin A. Mather²

1811-5209/23/0019-0282\$2.50 DOI: 10.2138/gselements.19.5.282



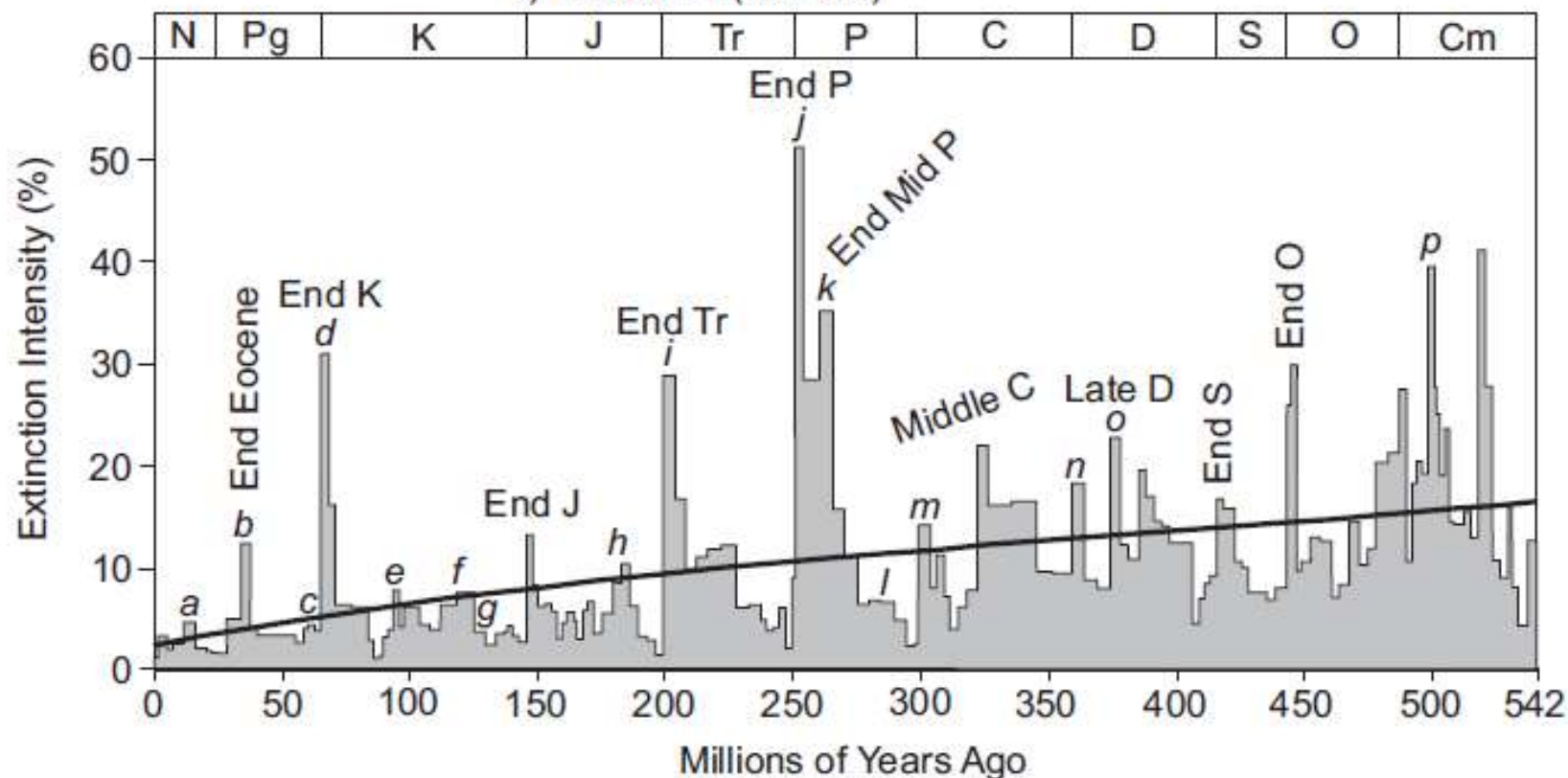
Множество толщ карбонатов и эвапоритов, красное – силлы долеритов



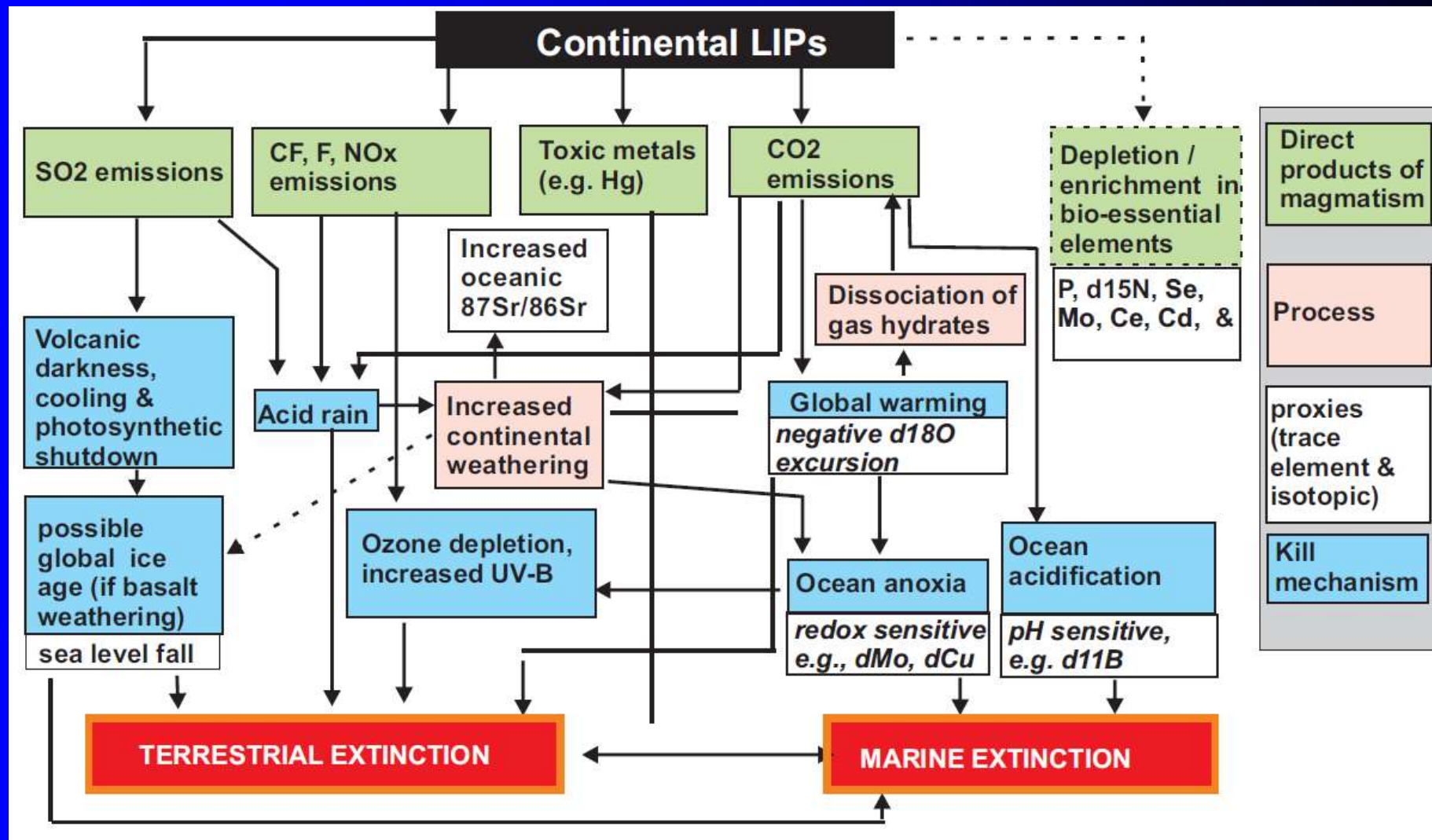
ВЛИЯНИЕ LIPs НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

14.3 LIPs and their environmental consequences

- | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| a) Columbia River (16.5 Ma) | f) Ontong Java/Manihiki (122 Ma) | l) Tarim (280 Ma) |
| b) Afro Arabian (32-29 Ma) | g) Parana-Etendeka (132 Ma) | m) Jutland (300 Ma) |
| c) North Atlantic (62-58 Ma) | h) Karoo/Ferrar (183-179 Ma) | n) Kola-Dneiper (370 Ma) |
| d) Deccan (66 Ma) | i) CAMP (201 Ma) | o) Yakutsk-Vilyui (380 Ma) |
| e) Caribbean Province (93 Ma) | j) Siberian Traps (251 Ma) | p) Kalkarindji (510 Ma) |
| | k) Emeishan (260 Ma) | |



СЦЕНАРИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ LIPs НА ОСАДОЧНЫЕ БАССЕЙНЫ



Modified after Bond and Wignall (2014 in GSA SP 505)

РАЗНООБРАЗИЕ LIPS (Ernst, 2014)



LIP

CONTINENTAL

Continental Flood Basalt Provinces

e.g., Paraná-Etendeka, Karoo, Afro-Arabia

Volcanic Rifted Margins

e.g., India-Western Australia, North Atlantic

Giant Continental Dyke Swarms, Sills & Mafic Ultramafic Intrusive Provinces

e.g., Mackenzie, Warakurna, Bushveld

High-Volume Felsic (Silicic) Provinces

e.g., Whitsunday, Chon Aike, Sierra Madre Occidental, Kennedy-Connors-Auburn, Malani

Associated Carbonatites & Kimberlites

(e.g., as part of the Bushveld event (carbonatite) and the Siberian Trap event (kimberlite), respectively)

Greenstone Belts, Extensive Tholeiite-Komatiite-Rhyolite Volcanic Sequences & Sill Complexes

e.g., Superior, Slave, Yilgarn

OCEANIC

Oceanic Plateaus

e.g., Ontong Java-Manihiki-Hikurangi, Kerguelen

Ocean Basin Flood Basalts

e.g., Nauru Basin, East Mariana, Pigafetta

1

2

3

4

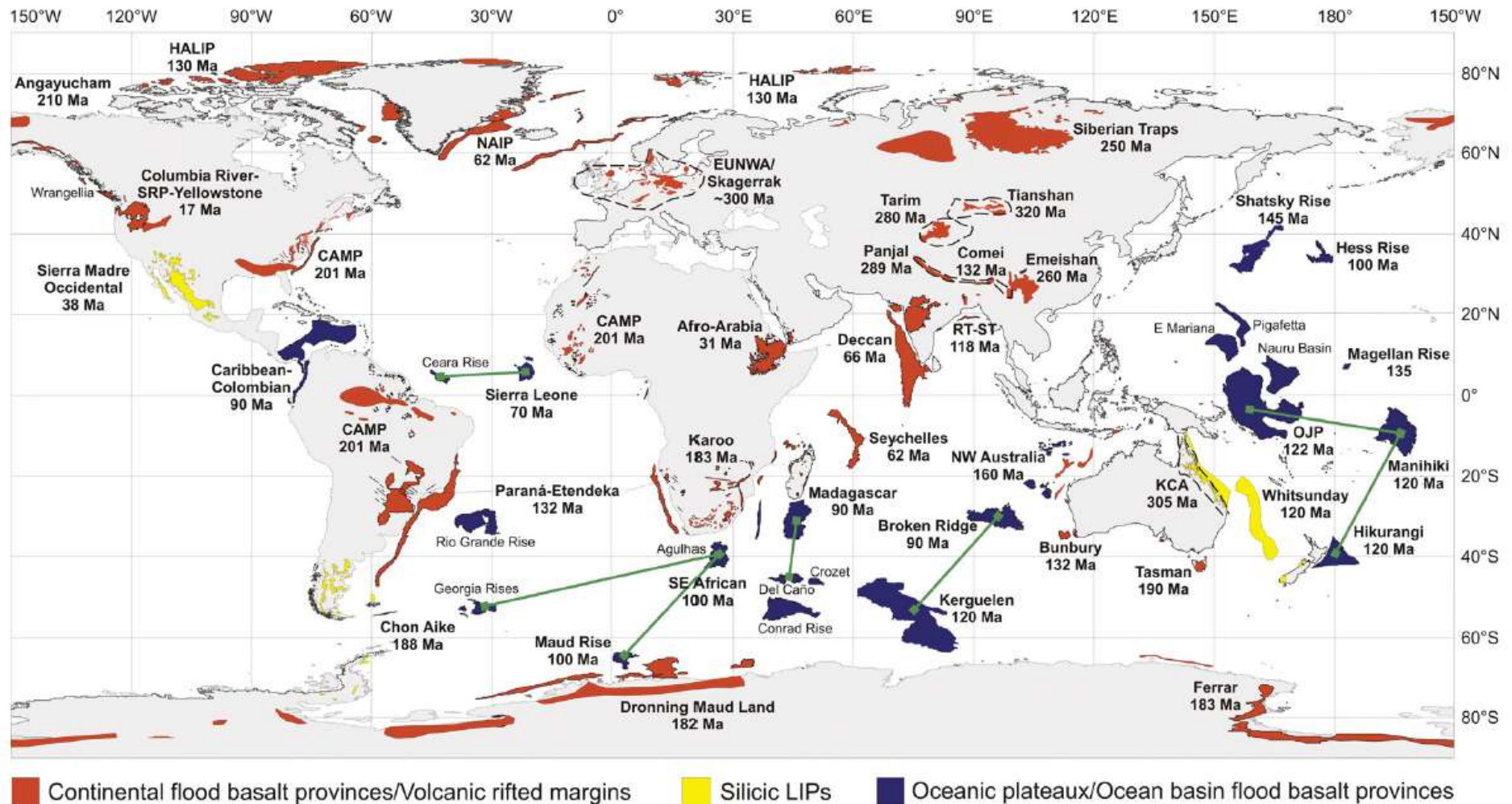
5

6

7

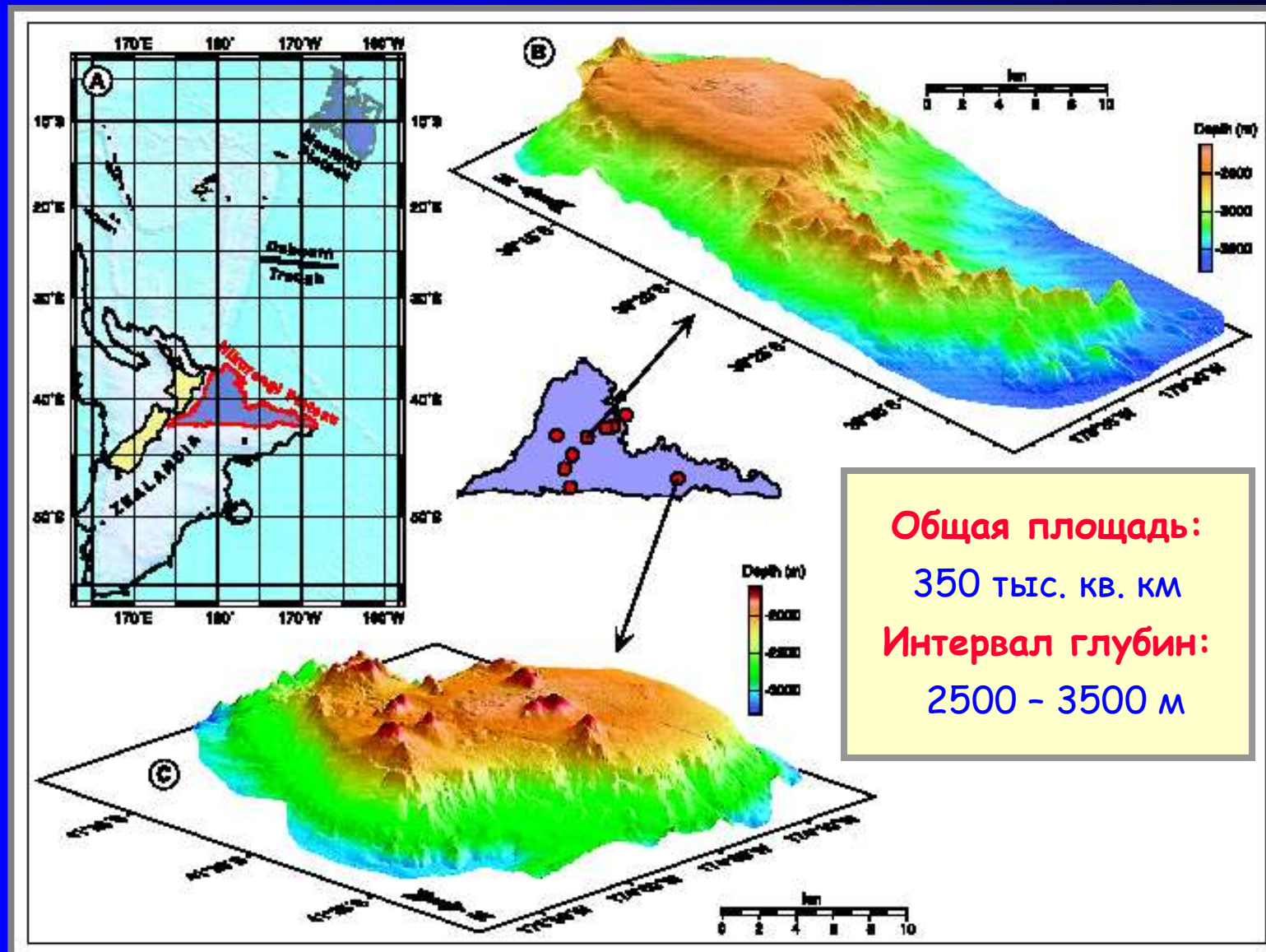
8

Континентальные "flood basalts", вулканические окраины континентов (зоны рифтогенеза), океанические LIPs и области проявления кислого вулканизма

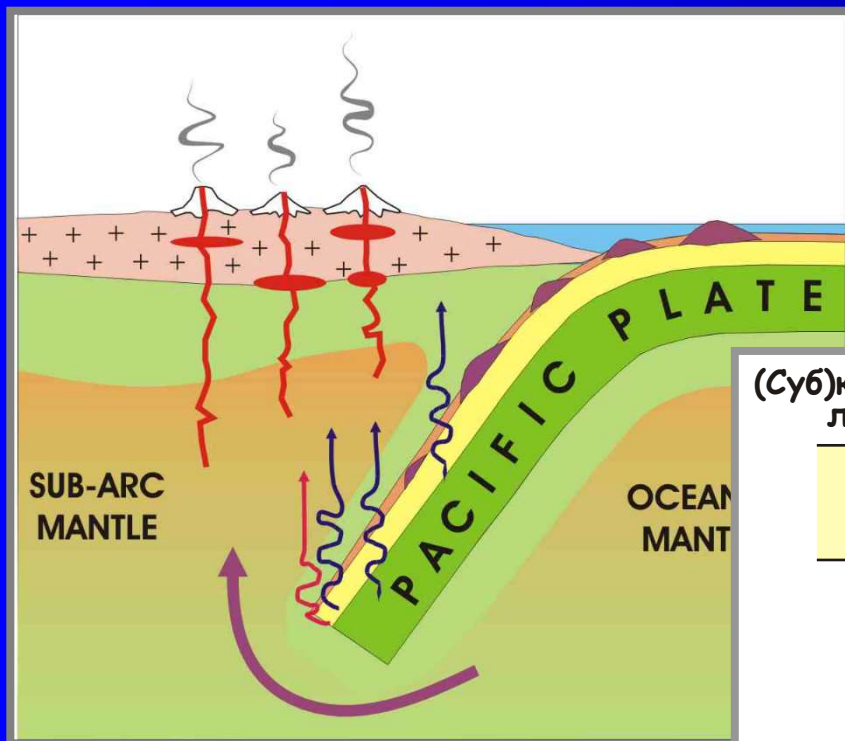


Bryan and Ferrari, 2013

СТРОЕНИЕ ФРАГМЕНТОВ ПЛАТО ХИКУРАНГИ (к востоку от побережья Новой Зеландии)

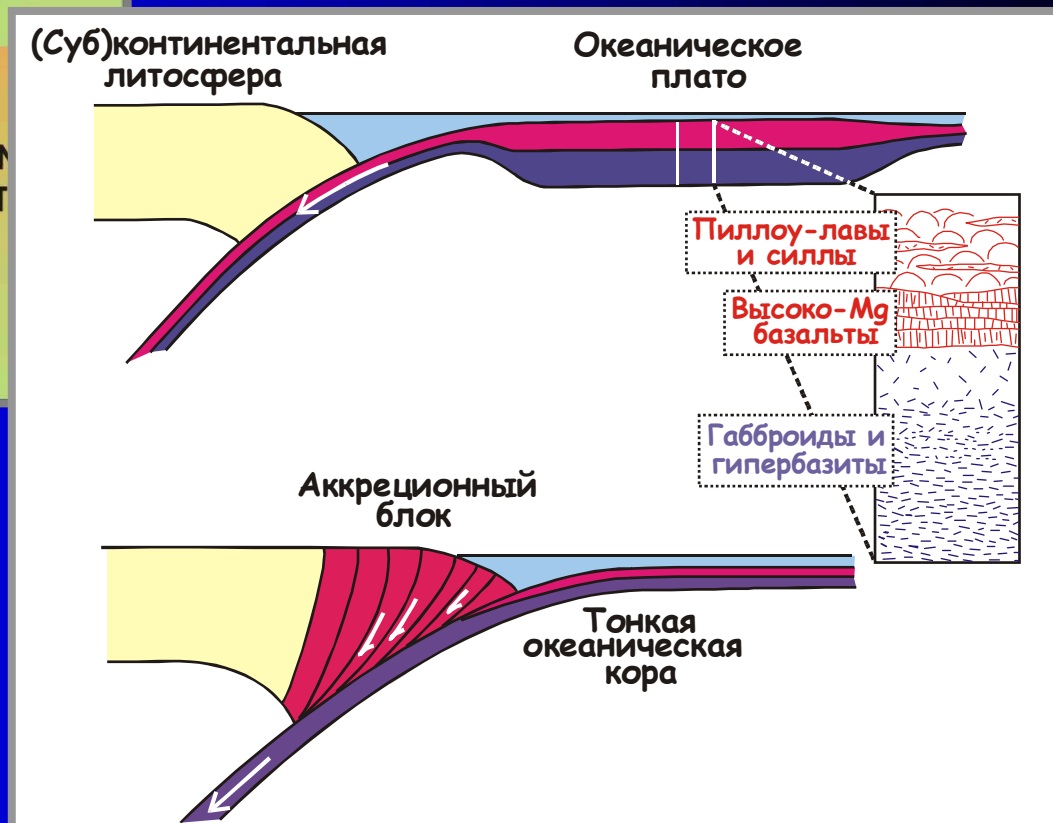


СТРОЕНИЕ СУБДУКЦИОННЫХ ЗОН ТИХОГО ОКЕАНА

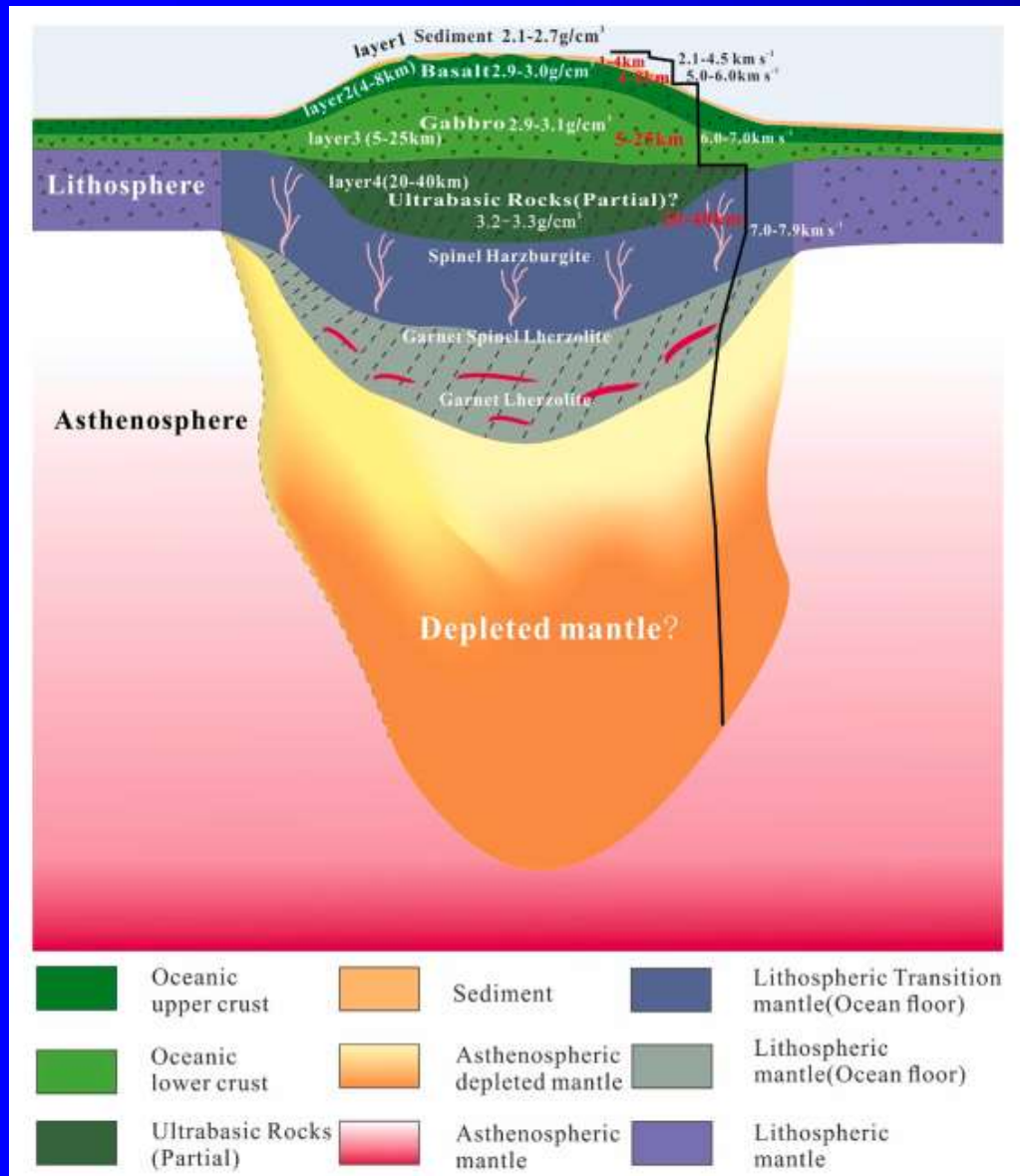


Каноническая схема
субдукции океанической
плиты

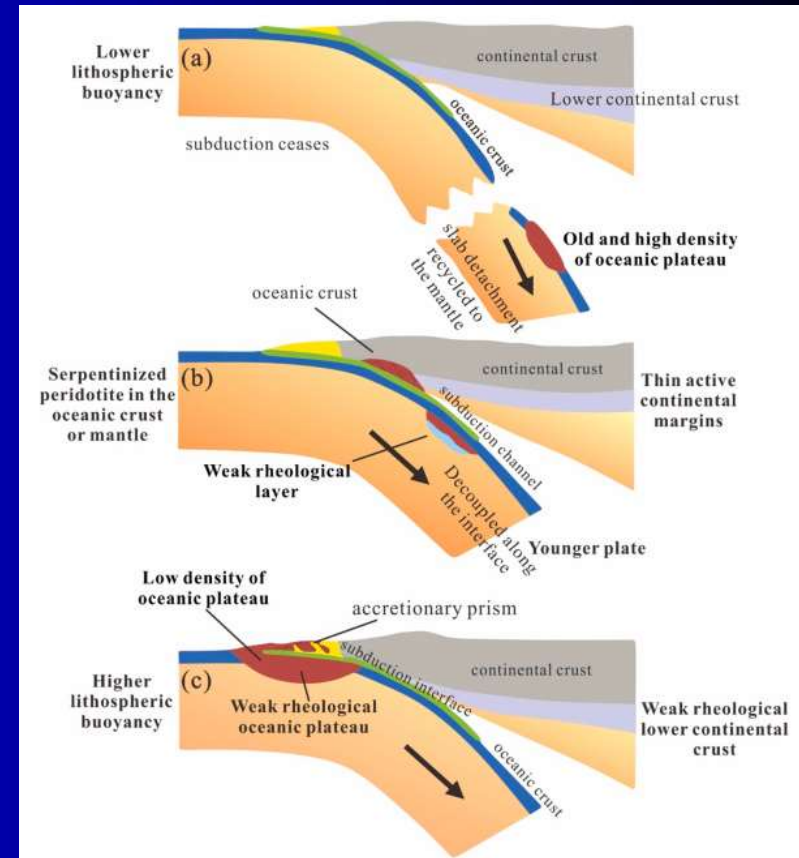
Схема субдукции, осложненная
аккрецией верхнего слоя
океанической коры



СОВРЕМЕННЫЕ СХЕМЫ СУБДУКЦИИ ОКЕАНИЧЕСКИХ ПЛАТО



Структурная модель океанических плато
(справа профиль сейсмических волн)



(а) полная, (б) частичная и (с) аккреционная схемы субдукции океанических плато

Earth-Science Reviews 215 (2021) 103556

Contents lists available at ScienceDirect

Earth-Science Reviews

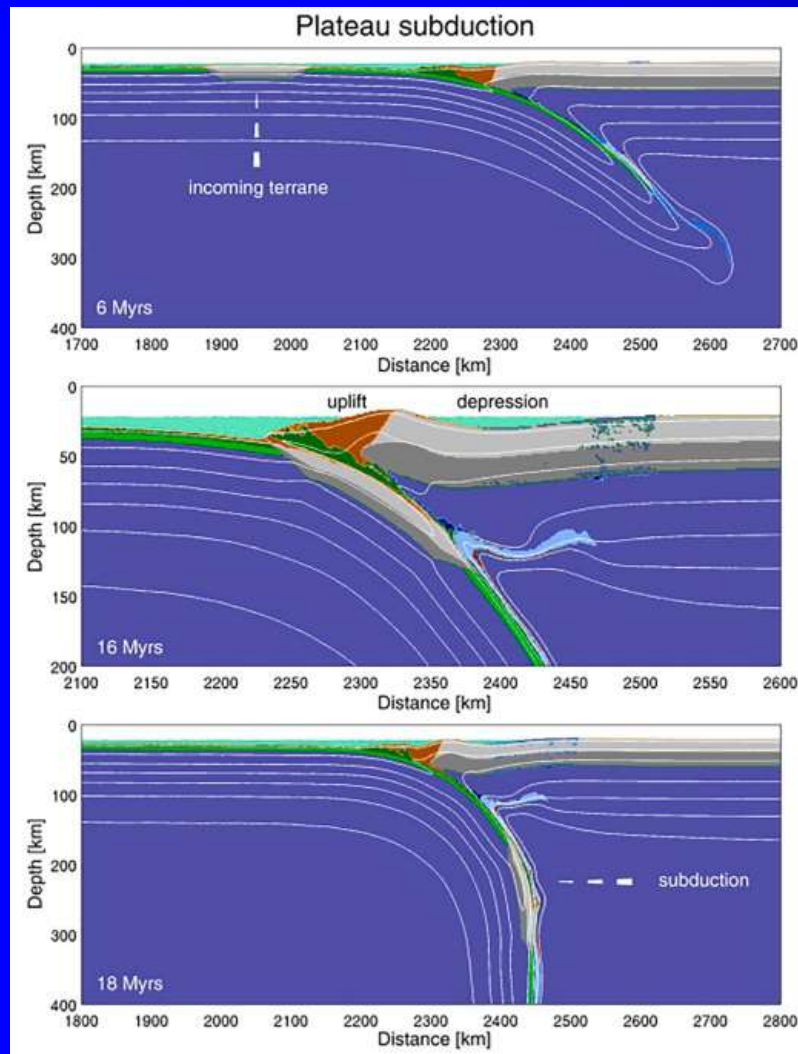
journal homepage: www.elsevier.com/locate/earscirev

When plateau meets subduction zone: A review of numerical models

Ze Liu^{a,b}, Liming Dai^{a,b,*}, Sanzhong Li^{a,b,*}, Liangliang Wang^{a,b}, Huilin Xing^{a,b}, Yongjiang Liu^{a,b}, Fangfang Ma^{a,b}, Hao Dong^{a,b}, Fakun Li^{a,b}

Check for updates

СОВРЕМЕННЫЕ СХЕМЫ СУБДУКЦИИ ОКЕАНИЧЕСКИХ ПЛАТО



Тектоническая эволюция при полной субдукции океанических плато (Vogt, Gerya, 2014)

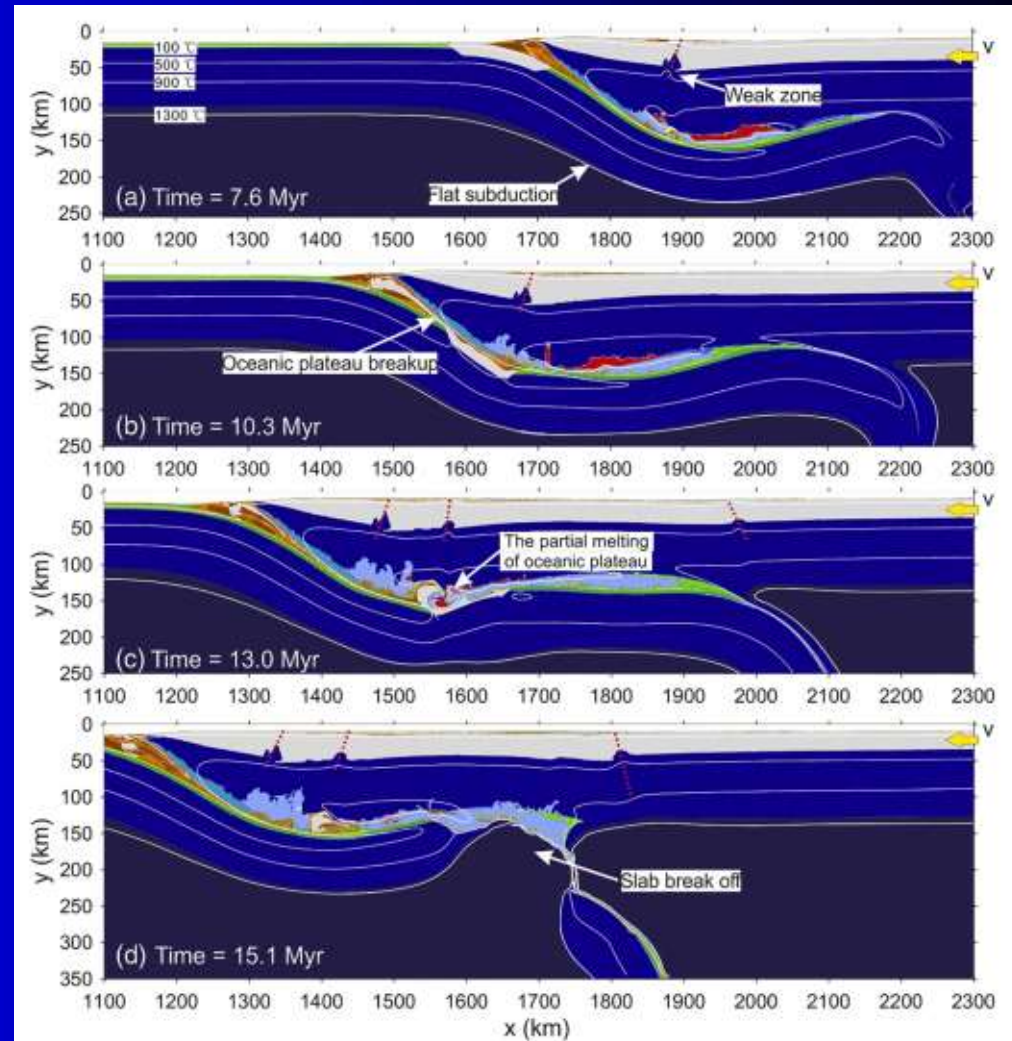
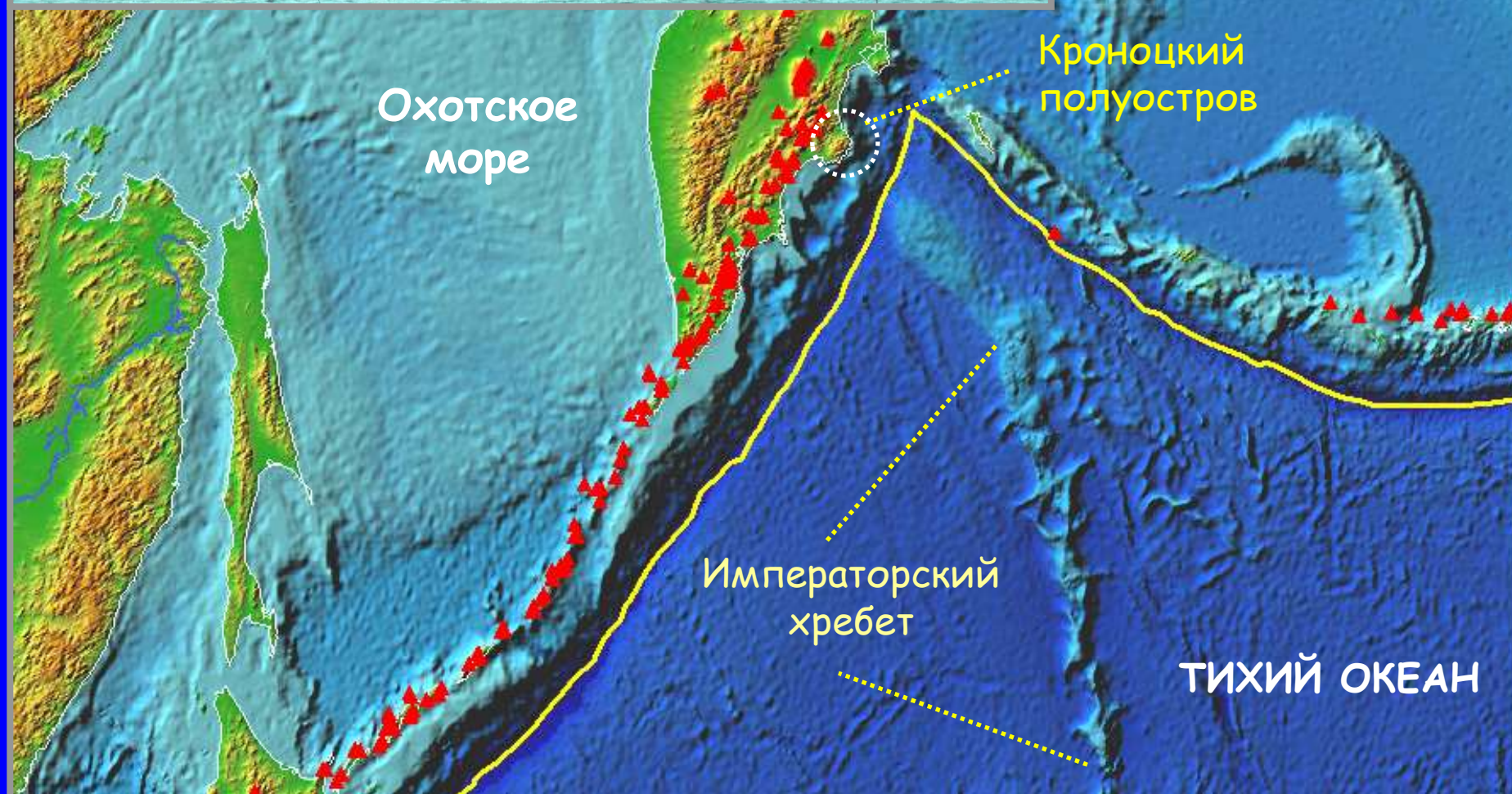
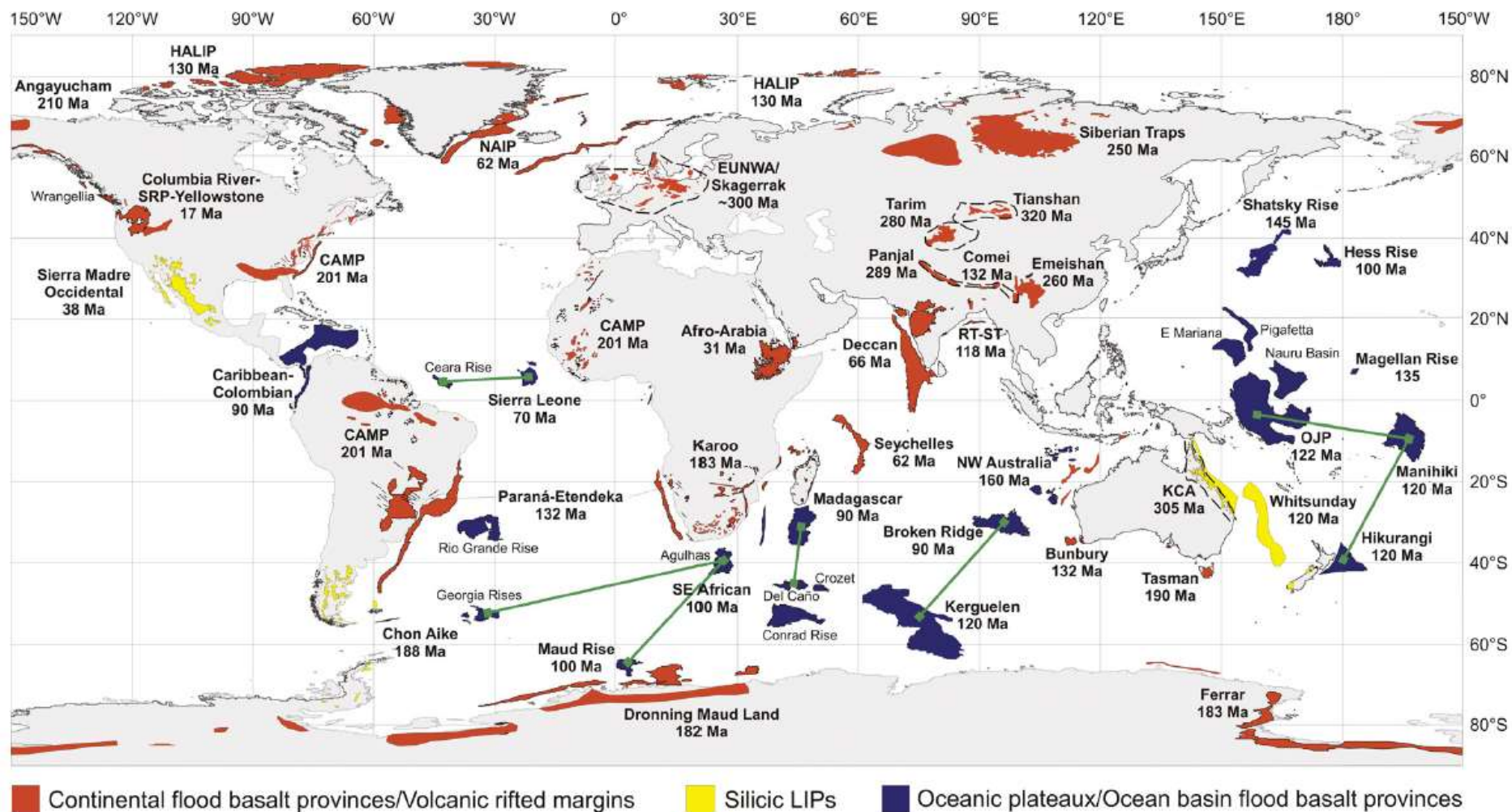


Fig. 8. 'Bottom accretion' of an oceanic plateau with continental crustal affinity (from Yang et al., 2017). Weak 'wet quartzite' rheology is used for the crust of both the oceanic plateau and the overriding continental plate. The initial age of the oceanic plate is 40 Ma. The convergence rate is $V = 8 \text{ cm/y}$.

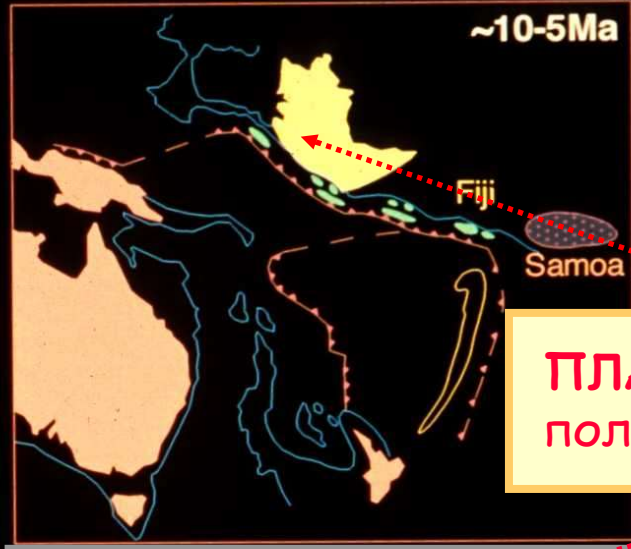
Гористый рельеф Кроноцкого полуострова



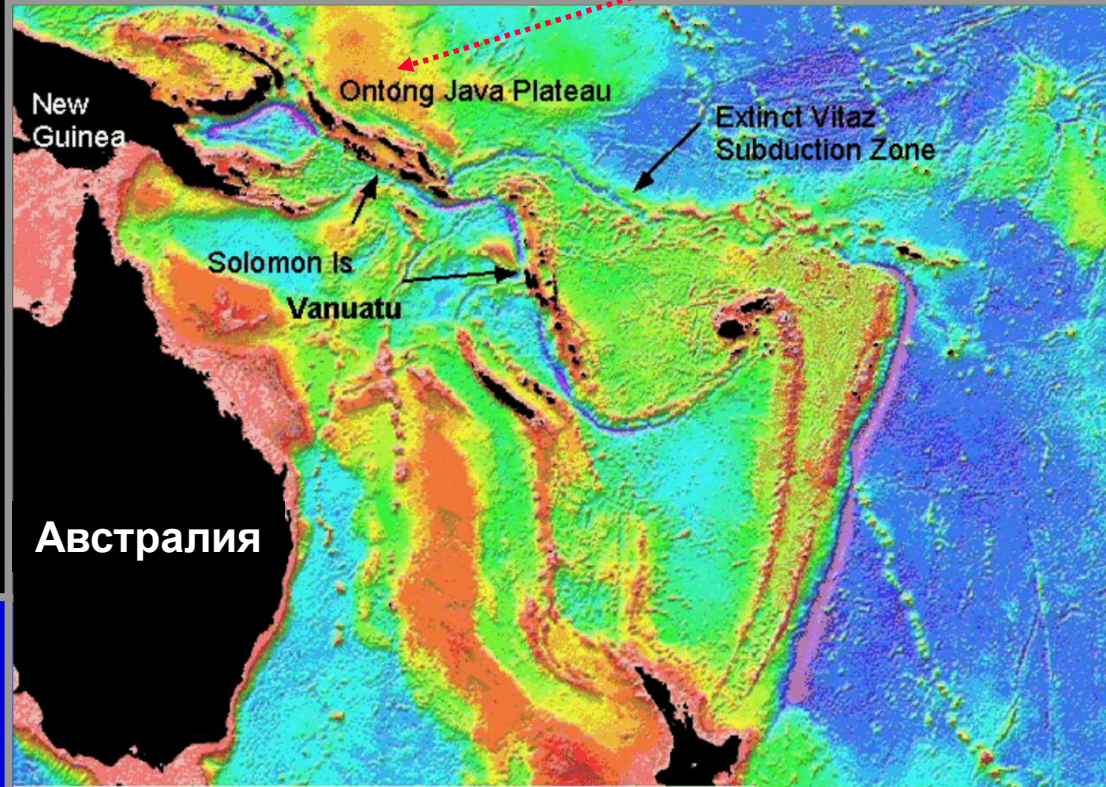
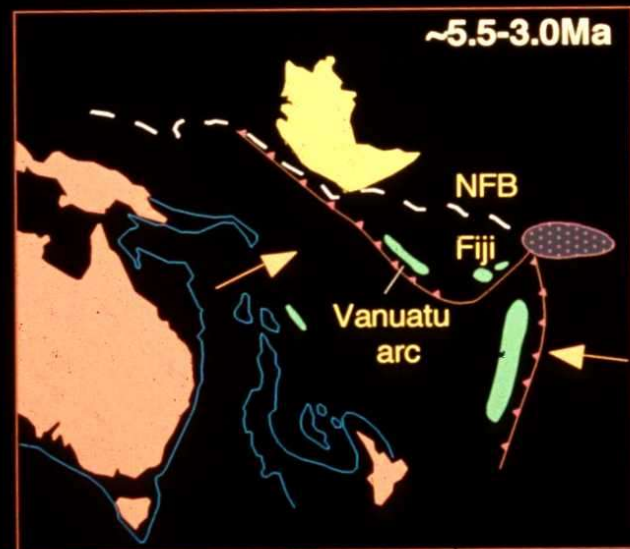
Континентальные "flood basalts", вулканические окраины континентов (зоны рифтогенеза), океанические LIPs и области проявления кислого вулканизма



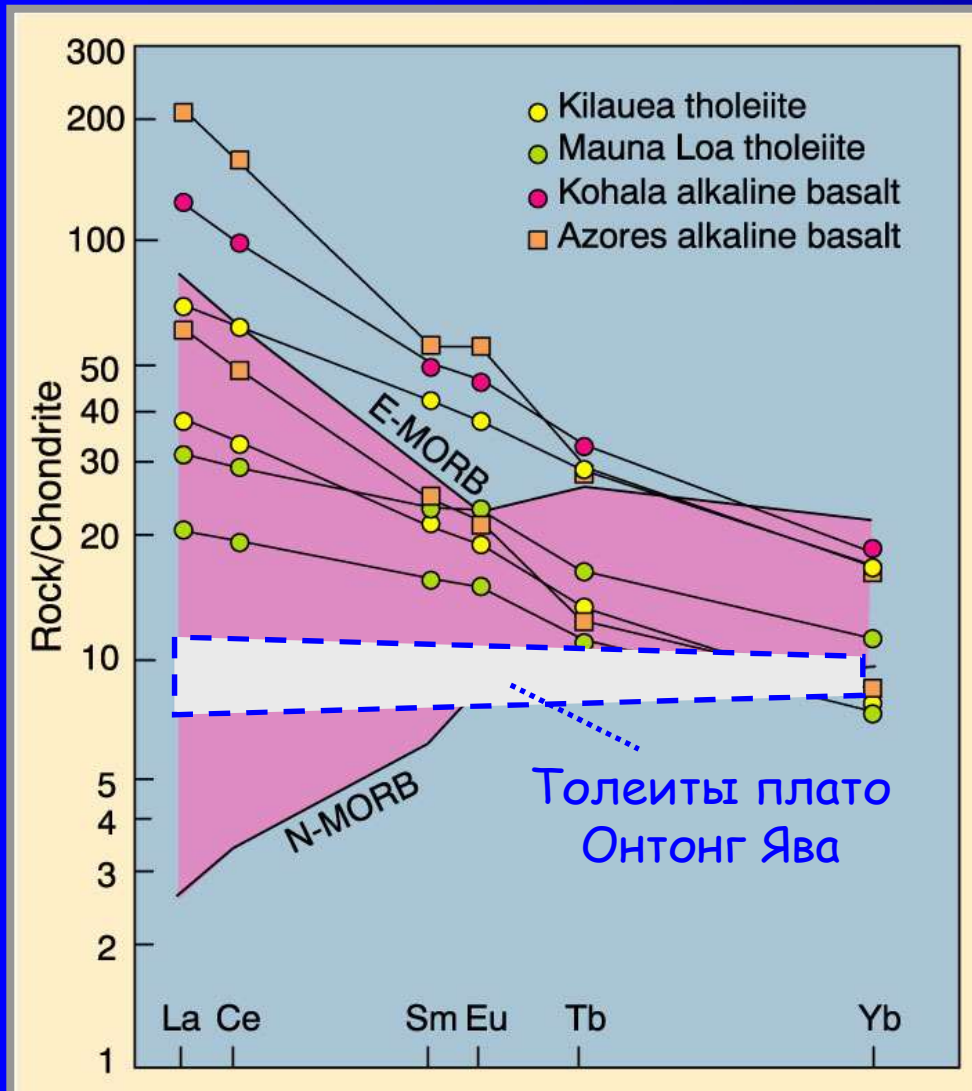
Bryan and Ferrari, 2013



**ПЛАТО ОНТОНГ ЯВА:
ПОЛОЖЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ**



РАСТРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ в толеитах океанического плато Онтонг Ява



Подобные "плоские" спектры редких земель характерны также для базальтов Кроноцкого и Карибского террейнов.

Этот признак является типоморфной особенностью толеитового магматизма океанических плато.

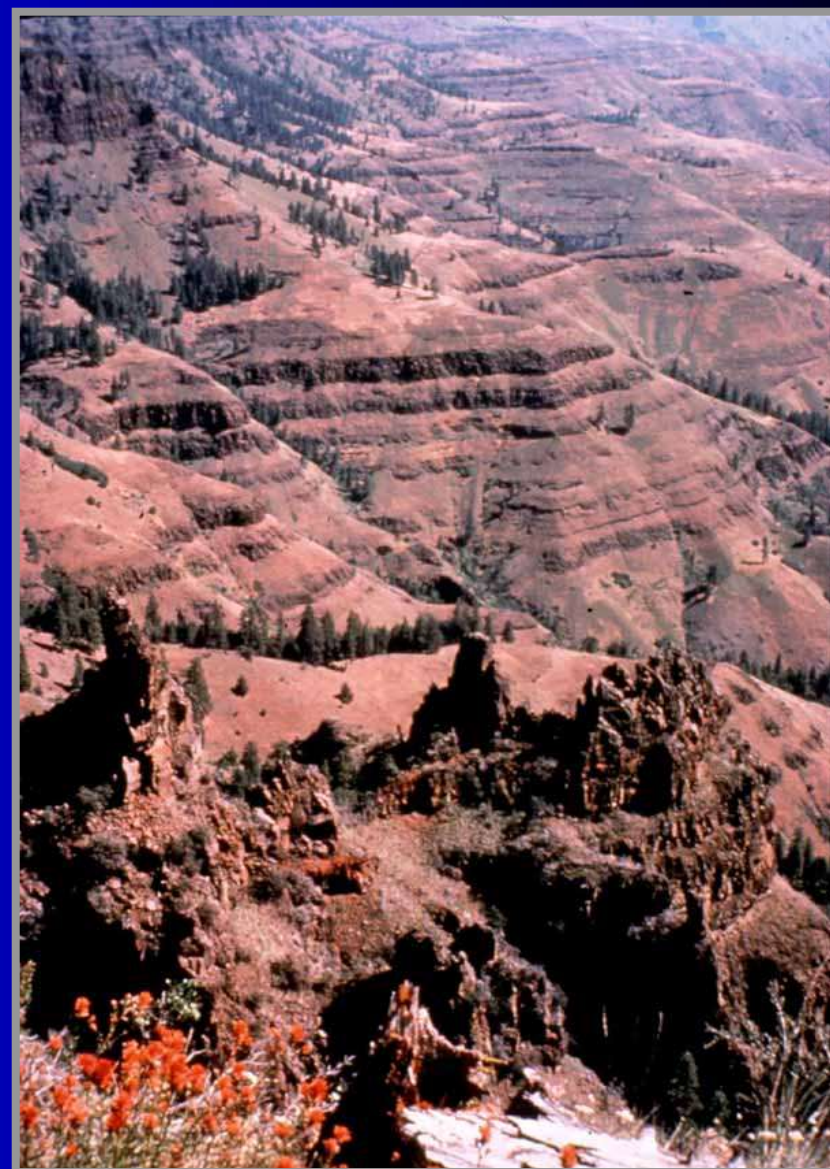
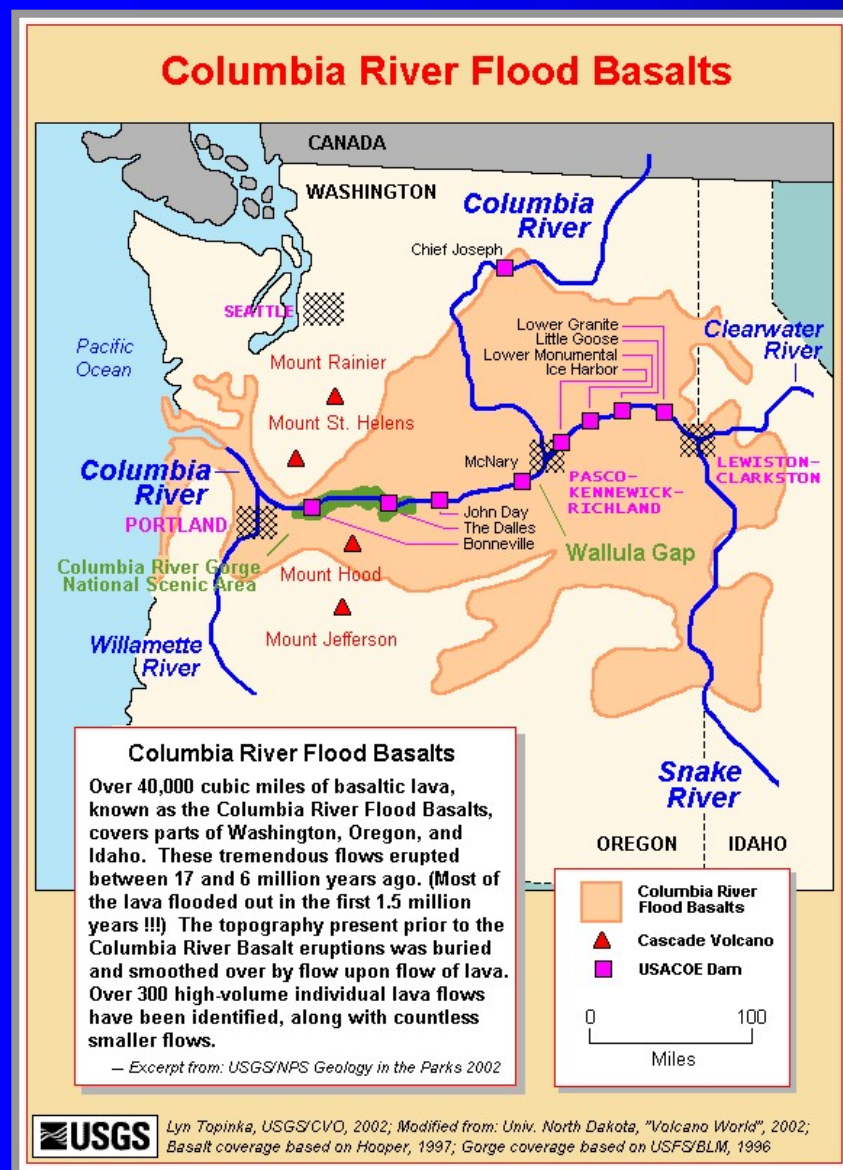
МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ И ИСТОЧНИК МАГМАТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

(1) Одни авторы полагают, что определяющую роль играет декомпрессионное плавление мантийного вещества непосредственно внутри поднимающегося плюма. В этих случаях степень плавления мантийного перидотита должна составлять порядка 15-20%.

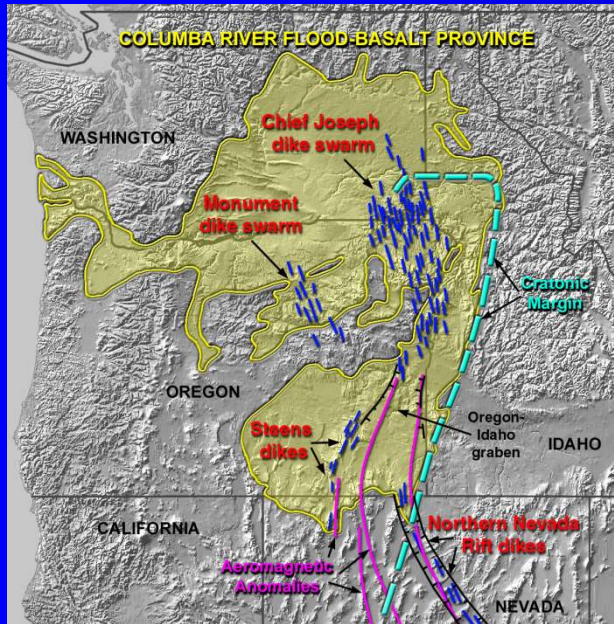
(2) Другие указывают на возможность вовлечения в процессы плавления рециклированного базальтового материала океанической литосферы. С учетом этого обстоятельства общая степень плавления гибридизированного материала может увеличиться до 30-40%.

Альтернатива мантийного и литосферного источника платобазальтов составляет ядро дискуссий о природе континентального траппового магматизма.

ПОКРОВНЫЕ БАЗАЛТЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ПЛАТО РЕКИ КОЛУМБИЯ (северо-запад США)



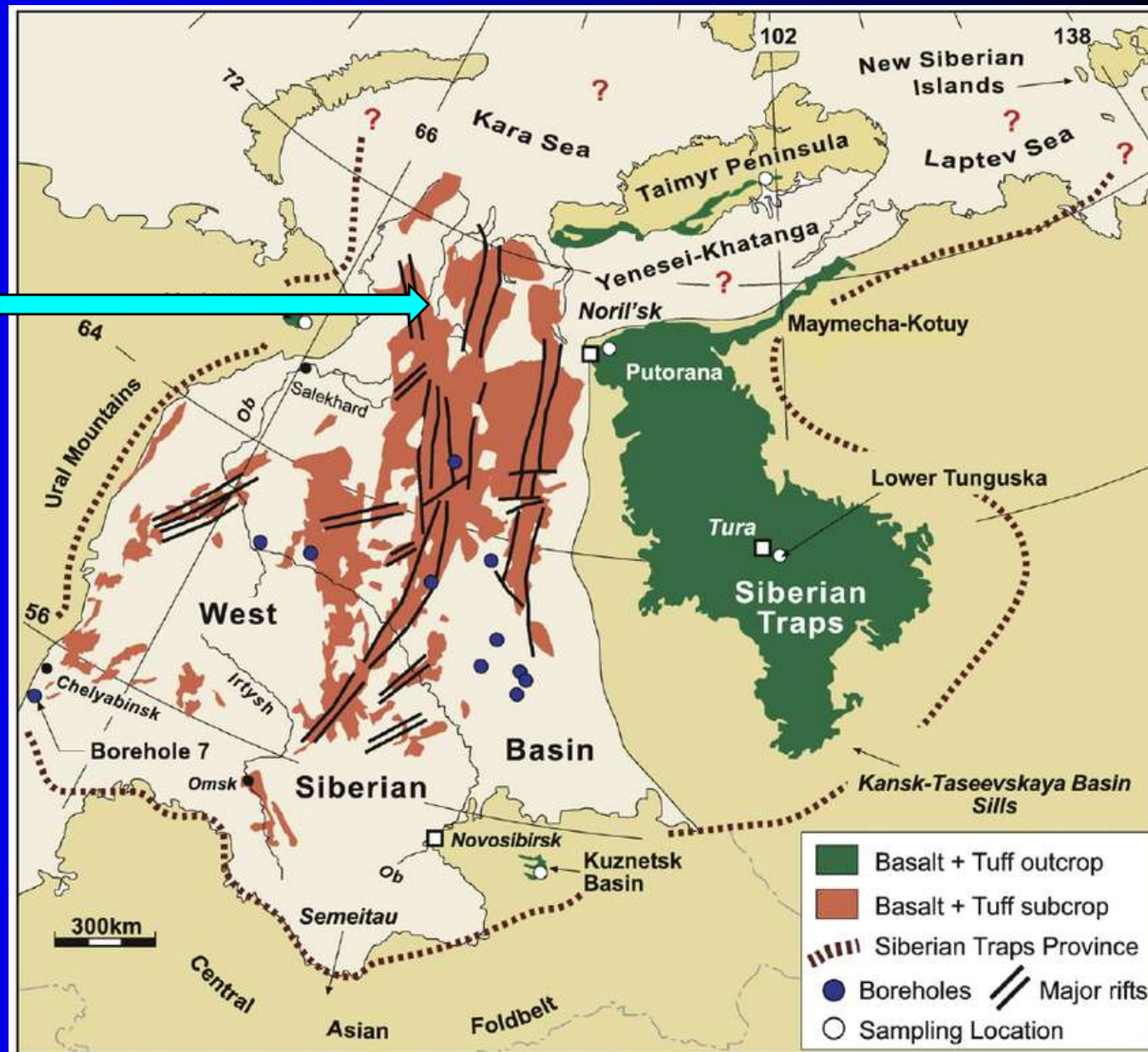
ПОКРОВНЫЕ БАЗАЛТЫ РЕКИ КОЛУМБИЯ



ТРАПТЫ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Геохронологическая шкала			млн лет назад	
Эон	Эра	Период	0	
Фанерозой	Кайнозой	Четвертичный	2,58	
		Неоген	23	
		Палеоген	66	
	Мезозой	Мел	145	
		Юра	201	
		Триас	252	
	Палеозой	Пермь	299	
		Карбон	359	
		Девон	419	
		Силур	444	
Ордовик		485		
Протерозой	Неопротерозой	Кембрий	539	
		Эдиакарий	635	
		Криогений	720	
	Мезопротерозой	Тоний	1000	
		Стений	1200	
		Эктазий	1400	
	Палеопротерозой	Калимий	1600	
		Статерий	1800	
		Орозирий	2050	
		Рясий	2300	
	Архей	Катархей	Сидерий	2500
			Неоархей	2800
			Мезоархей	3200
			Палеоархей	3600
			Эоархей	4031
			4567	

Источник 



ОБЩИЙ ВИД БАЗАЛЬТОВОГО ПЛАТО ПУТОРАНА

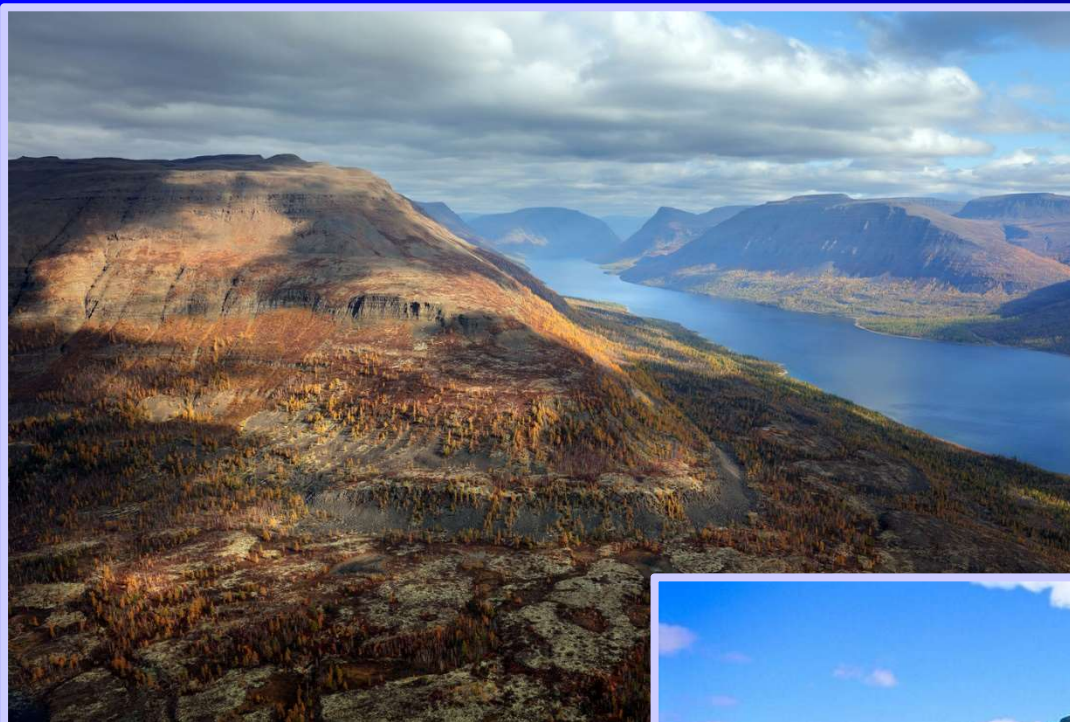
(Июль 1989 г.)





ТРАПТЫ ПЛАТО ПУТОРАНА





ТРАППЫ ПЛАТО ПУТОРАНА



ТРАПТЫ В ДОЛИНЕ Р. ПОДКАМЕННАЯ ТУНГУСКА

(Восточная Сибирь, июль 1976)



СТОЛБЧАТАЯ ОТДЕЛЬНОСТЬ ДОЛЕРИТОВ ДОЛИНЫ РЕКИ ПОДКАМЕННАЯ ТУНГУСКА

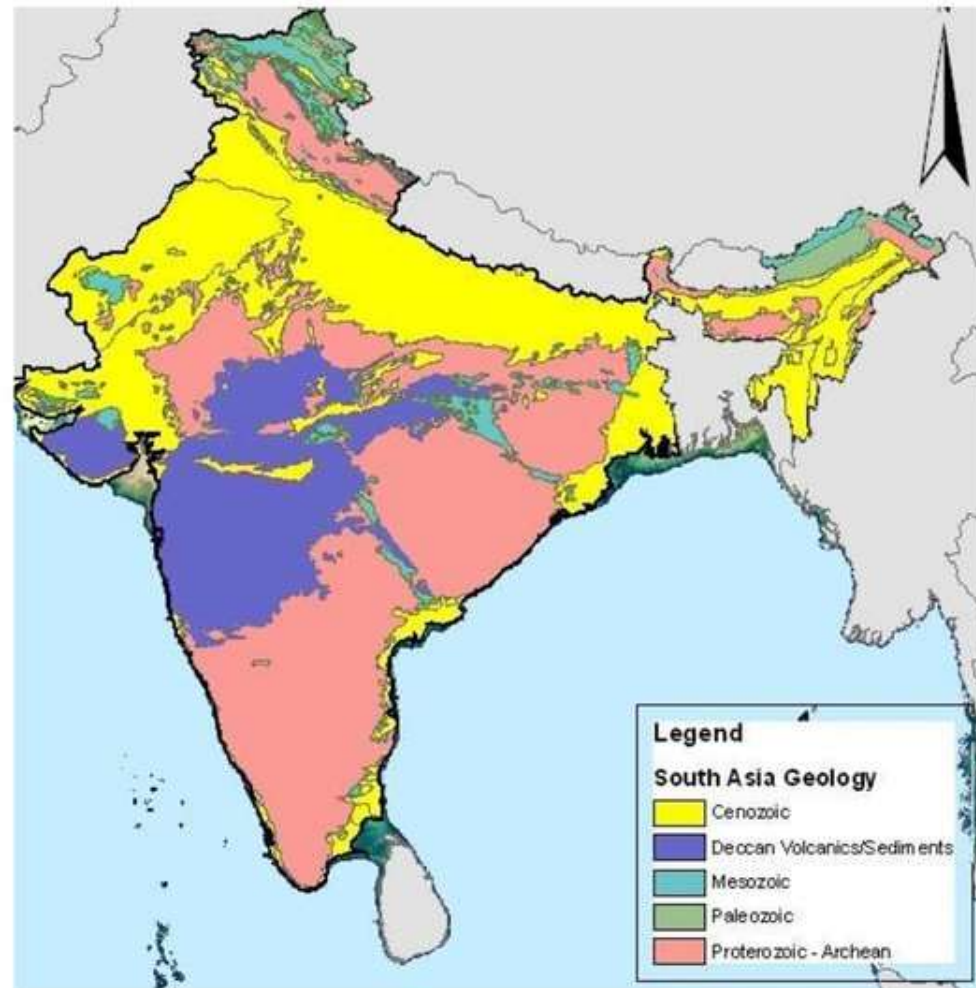


ТРАППЫ ПЛАТО ДЕКАН

Мощность базальтов более 2000 м., площадь 1,5 млн. км². Объем базальтов 512 000 км³.

Извержения произошли на границе мела и палеогена.

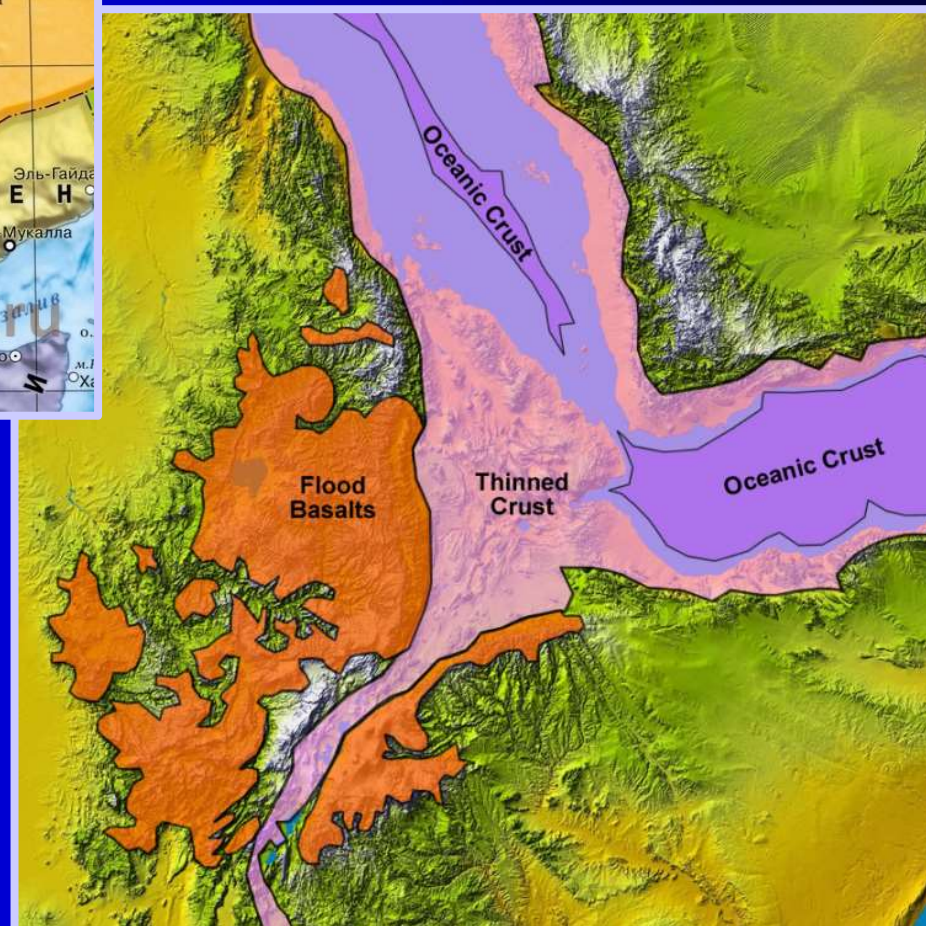
Рельеф – плато 200-600 м, расчлененное глубокими долинами.



ТРАПТЫ ПЛАТО ДЕКАН



ТРАППЫ ЭФИОПИИ



ТРАППЫ ЭФИОПИИ



ТРАПТЫ БАСЕЙНА ПАРАНА В БРАЗИЛИИ



Парана бассейн (португальский : *Bacia*

Парана , испанский : *Куэнка Парана*) является

большим кратоном осадочного бассейна, который расположен в центрально-восточной части Южной Америки. Около 75% ее ареала распространения происходит в Бразилии. Остаток распределяется на востоке Парагвая, северо - востоке Аргентины и на севере Уругвая. Форма депрессии примерно эллиптическая и охватывает площадь около 1500000 км² (580000 квадратных миль).

Крупная магматическая провинция была образована излияниями базальтов , что произошли 137 до 127 миллионов лет назад и связаны с рифтогенезом Гондваны и раскрытием Южной Атлантики. Площадь менее 1 млн. 000000 квадратных километров (390000 квадратных миль). Мощность траппов составляет 2000 м (6,600 футов).

Генетически связаны с траппами Etendeka в Намибии и Анголе в Юго - Западной Африке

ТРАПТЫ РЕКИ ПАРАНА В БРАЗИЛИИ

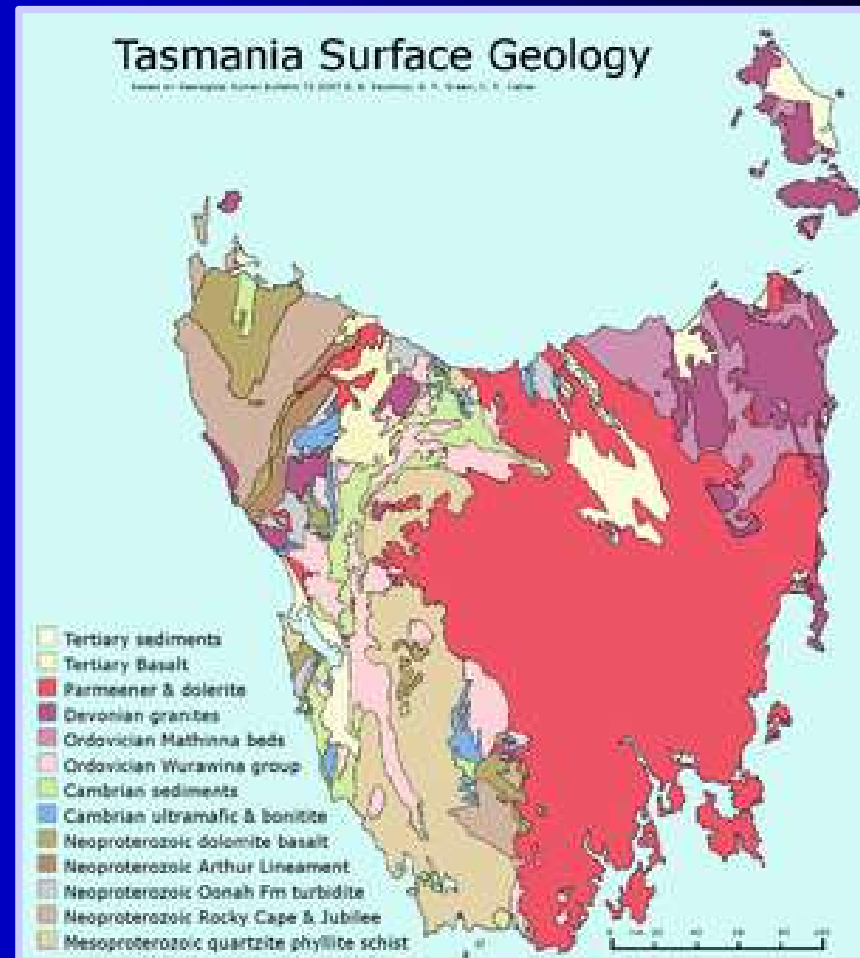
(водопады Игуасу)



Базальтовые отложения, по которым стекают водопады, возникли примерно 130-140 млн лет назад. Около 20 тыс. лет назад комплекс водопадов Игуасу располагался практически у впадения реки Игуасу в Парану. Каждый год расстояние между водопадом и рекой Парана увеличивалось примерно на 1—2 м и в результате получилось 28 км.

Первого европейца, ступившего на данную землю и считающегося открывателем водопадов, звали Нуньес Кабеса де Вака. Он открыл их в 1541 году, когда продвигался вверх по течению реки Парана через джунгли в поисках легендарных сокровищ страны Эльдорадо.

ТРАПТЫ ТАСМАНИИ



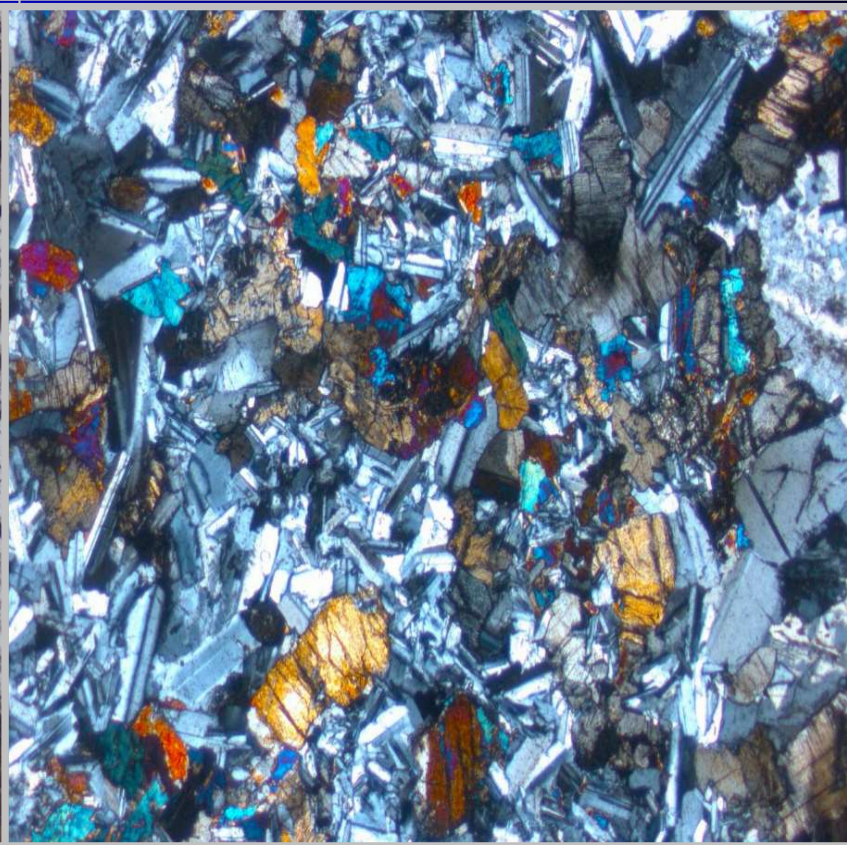
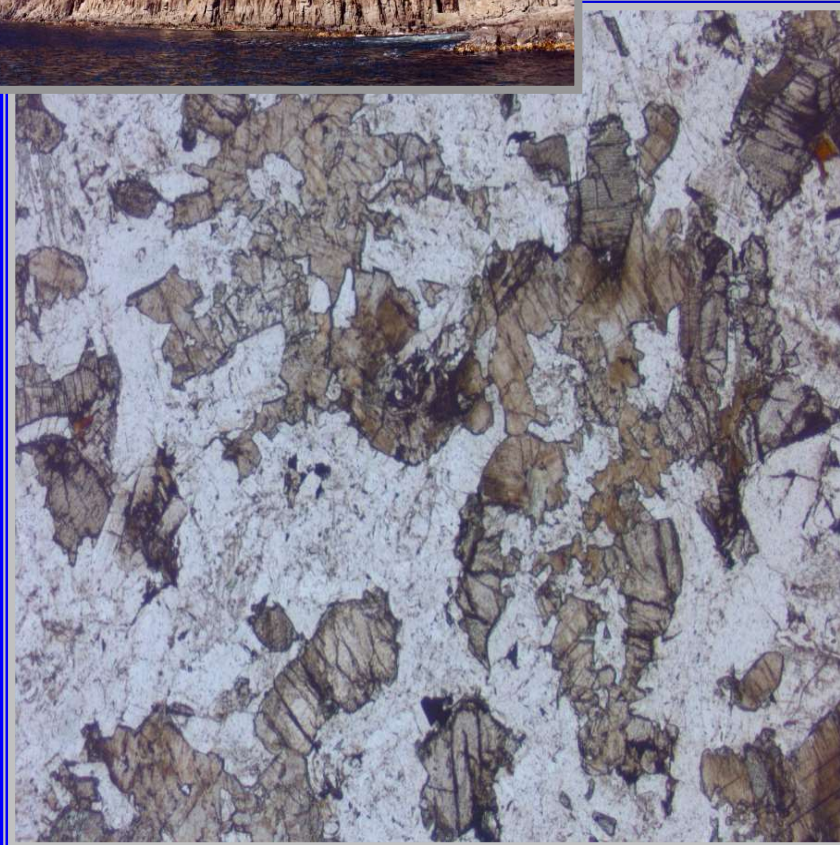
ПРИБРЕЖНЫЕ ОБНАЖЕНИЯ ТАСМАНСКОГО ДОПЕРИТА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ТАСМАНИЯ



СКАЛЬНЫЕ ВЫХОДЫ ТАСМАНСКОГО ДОЛЕРИТА



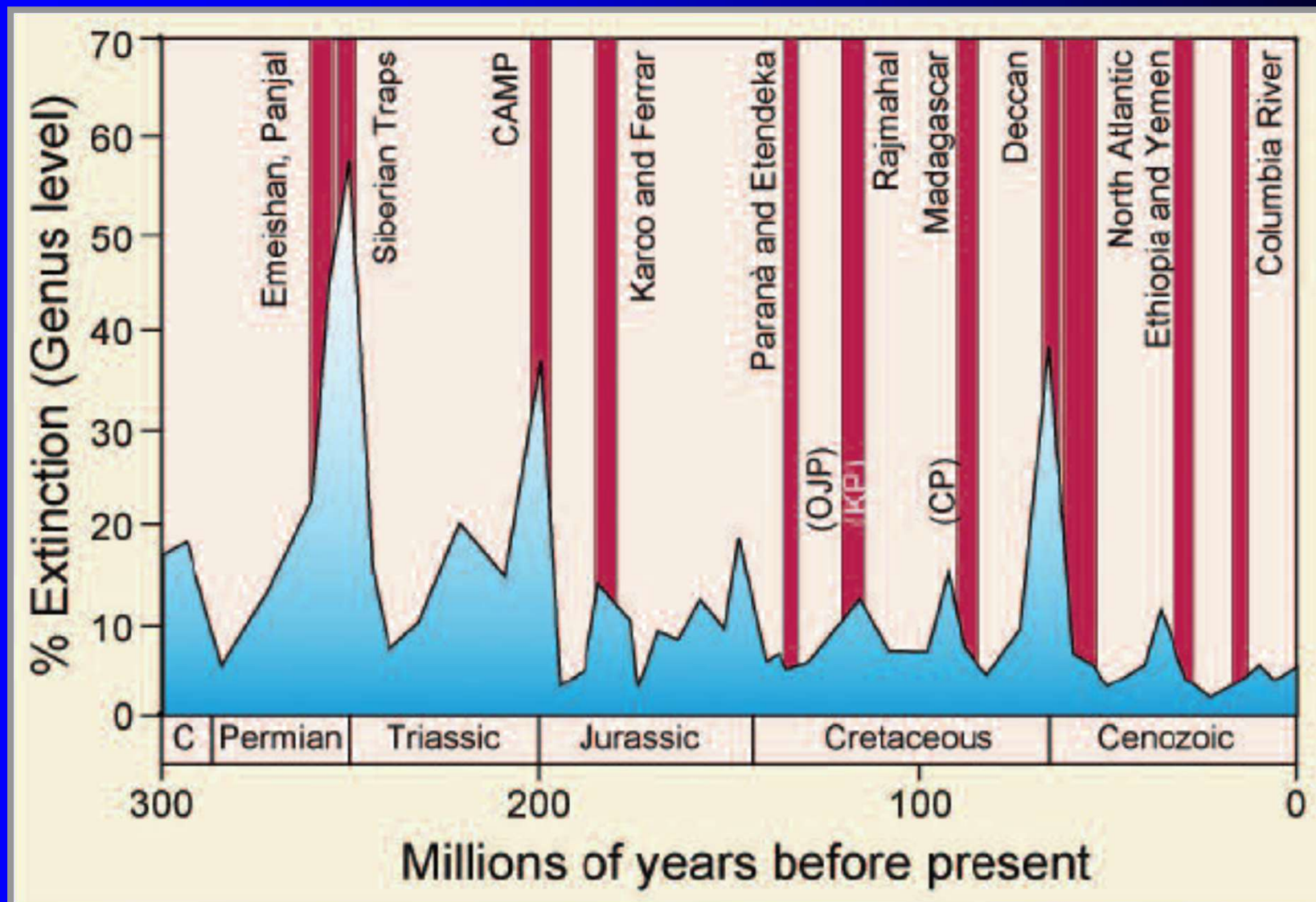
“ДОПЕРИТОВАЯ” СТРУКТУРА ТАСМАНСКИХ ДОПЕРИТОВ



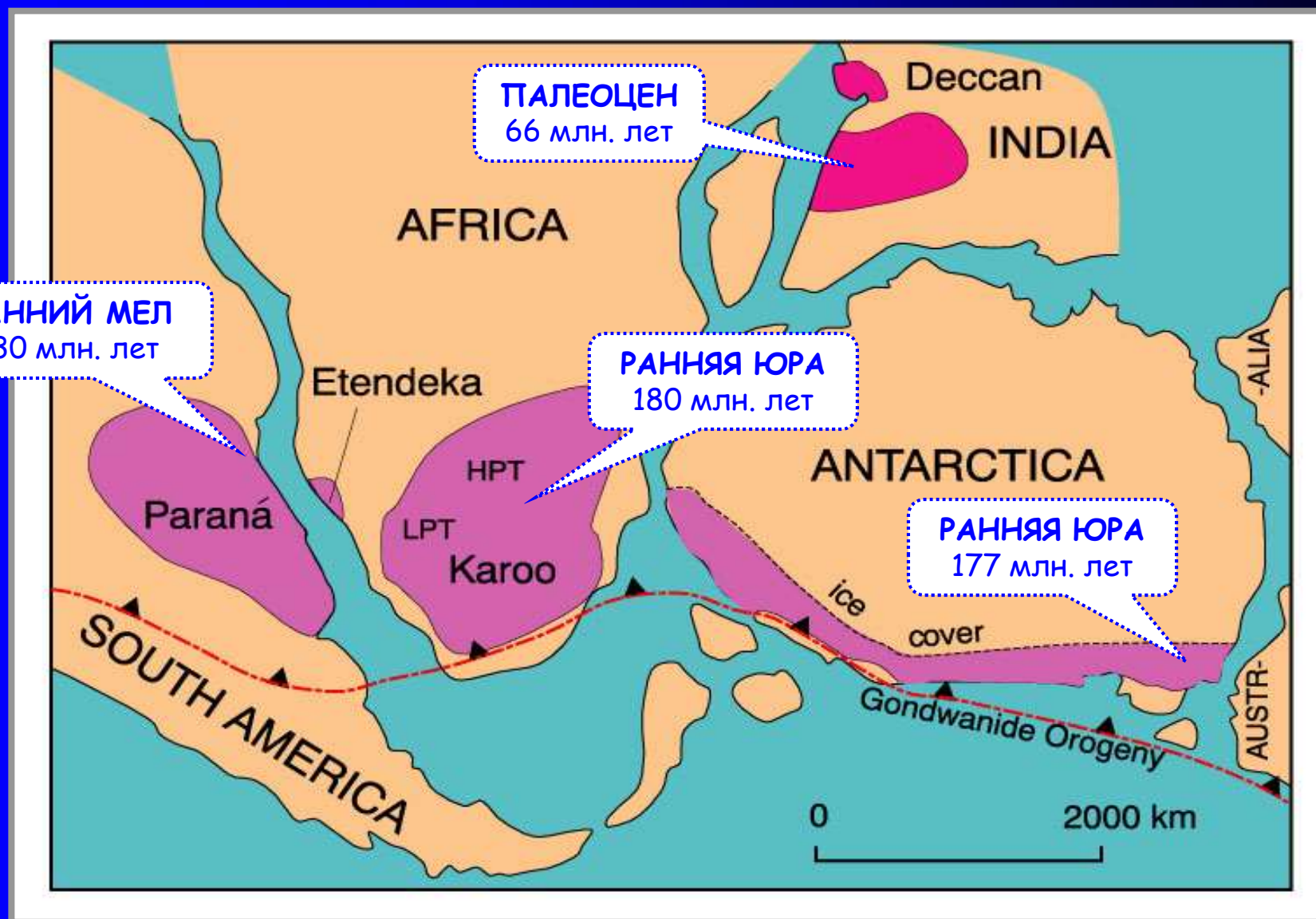
ГЛАВНЫЕ ПЛАТОБАЗАЛЬТОВЫЕ ПРОВИНЦИИ КОНТИНЕНТОВ

ФОРМАЦИЯ (ПРОВИНЦИЯ)	ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ	ВОЗРАСТ (МЛН. ЛЕТ)	МОЩНОСТЬ (МАХ, КМ)	ПЛОЩАДЬ (СОВРЕМ., КМ ²)
Keweenaw	Озеро Верхнее, Канада	Позд. докембрий (1100-1200)	12	> 1000000
Сибирские траппы	Восточная Сибирь, Россия	Пермь - триас (248-216)	3.5	> 1500000
Карру	Южная Африка	Юра (206-166)	9	140000
Долериты Ferrar-Tasmania	Антарктида и о. Тасмания	Юра (179± 7)	0.9	7800
Parana / Etendeka	Бразилия / Намибия	Юра - мел (140-110)	1.8 / 0.9	1200000 / 78000
Брит. - Арктическая провинция	Северная Атлантика	Мел - эоцен (65-50)	2	1000000
Плато Декан	Индия	Граница мела - палеоцена	> 2	500000
Плато Колумбия	Северо-Запад США	Миоцен (17-6)	> 1.5	50000

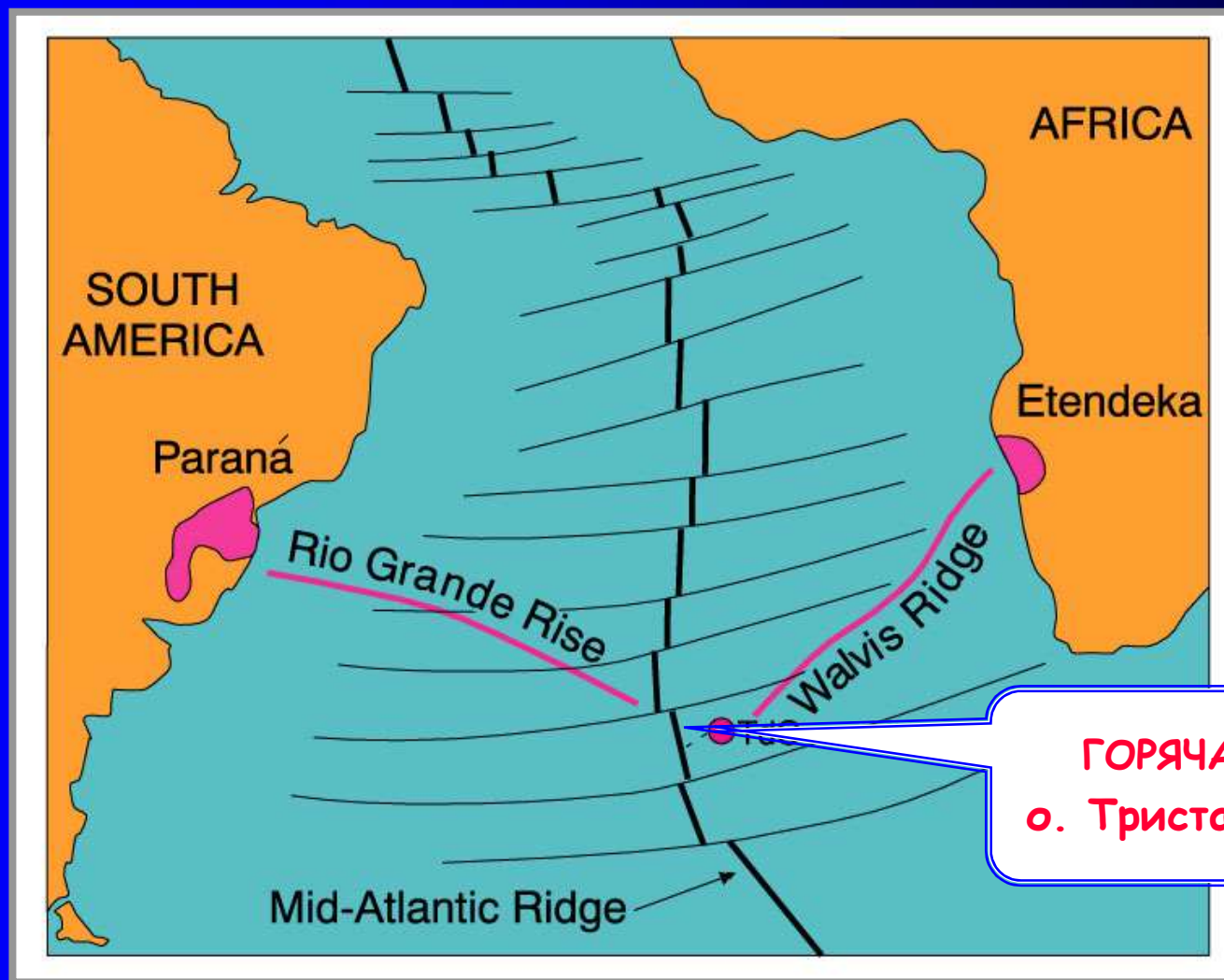
ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТРАПТОВОГО МАГМАТИЗМА И МАСШТАБЫ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ ФАУНЫ



ГЛАВНЫЕ ПЛАТОБАЗАЛЬТОВЫЕ ПРОВИНЦИИ ГОНДВАНЫ до раскола и разделения суперконтинента

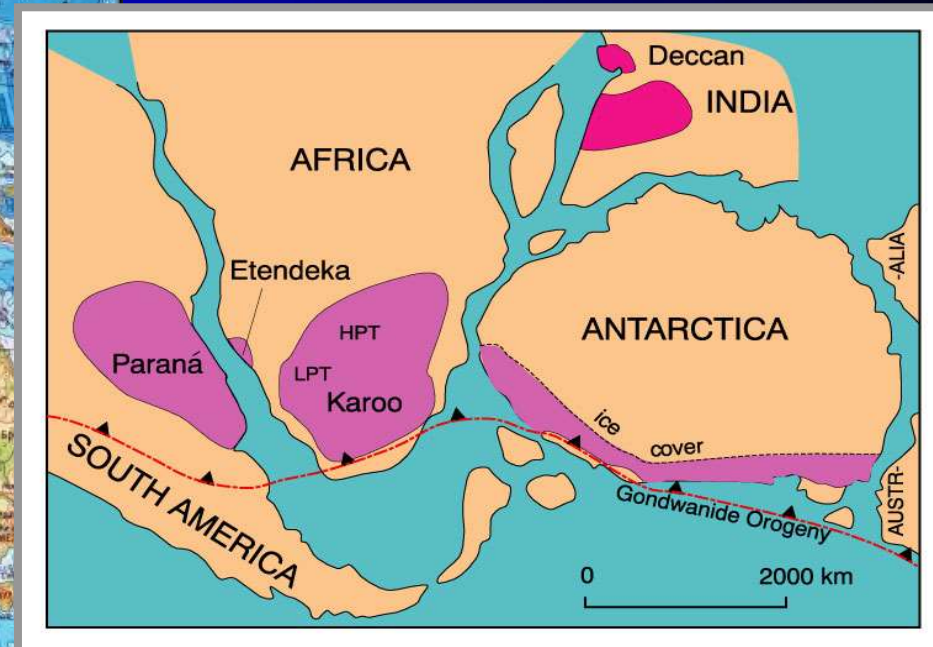
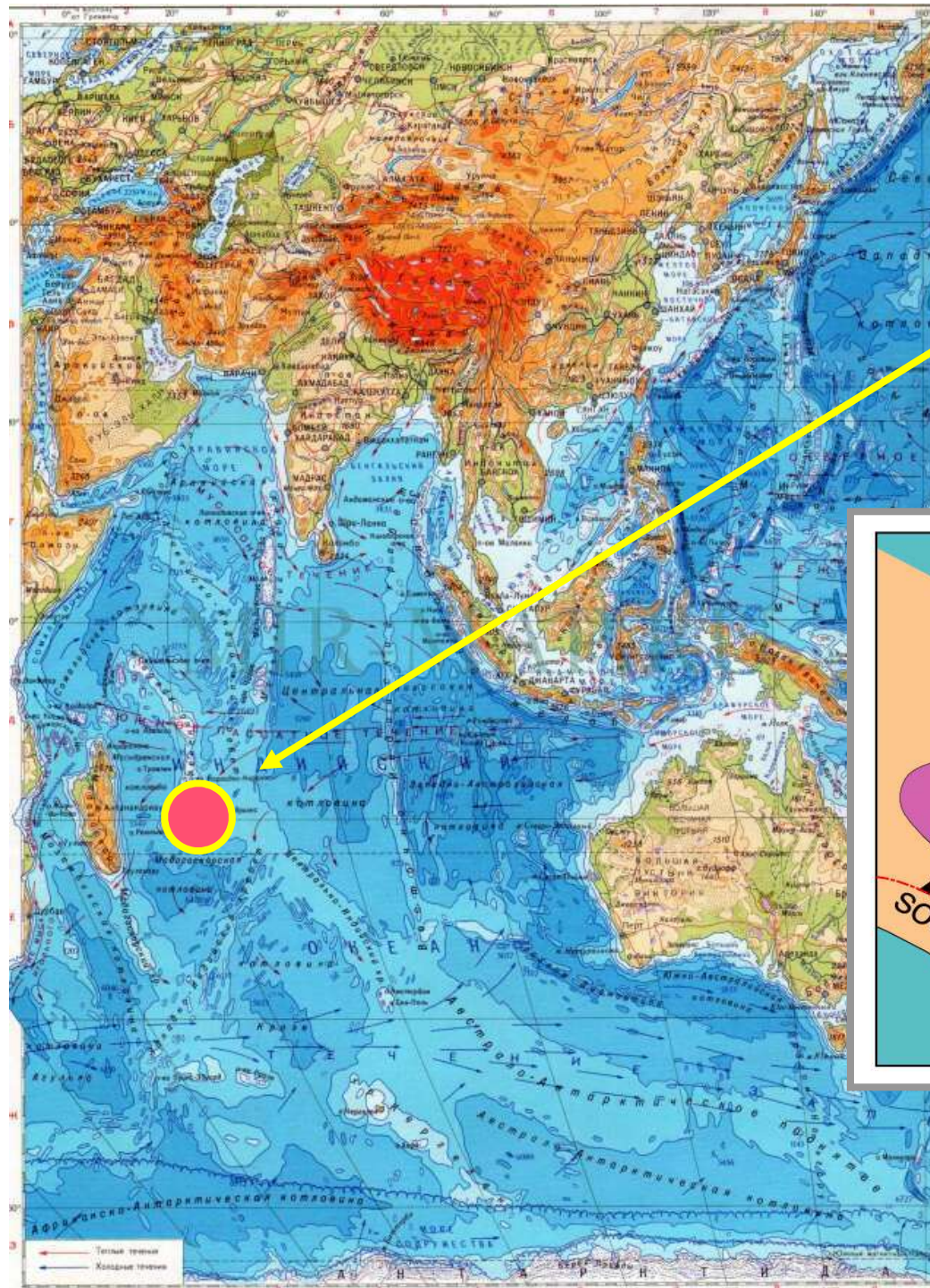


ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ПЛАТОБАЗАЛЬТОВЫХ ПРОВИНЦИЙ ПАРАНЫ И ЭТЕНДЕКИ

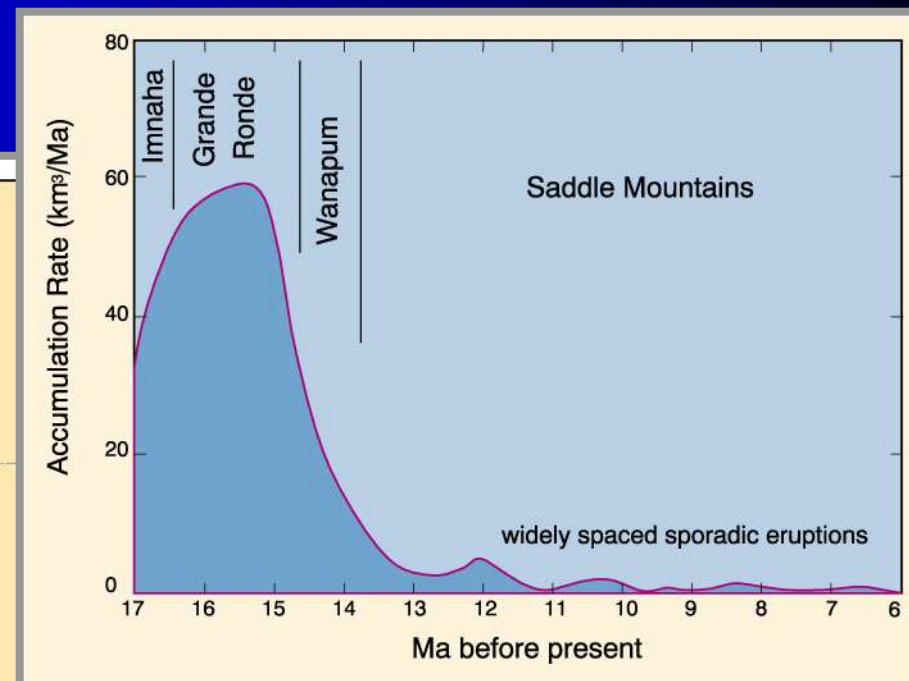
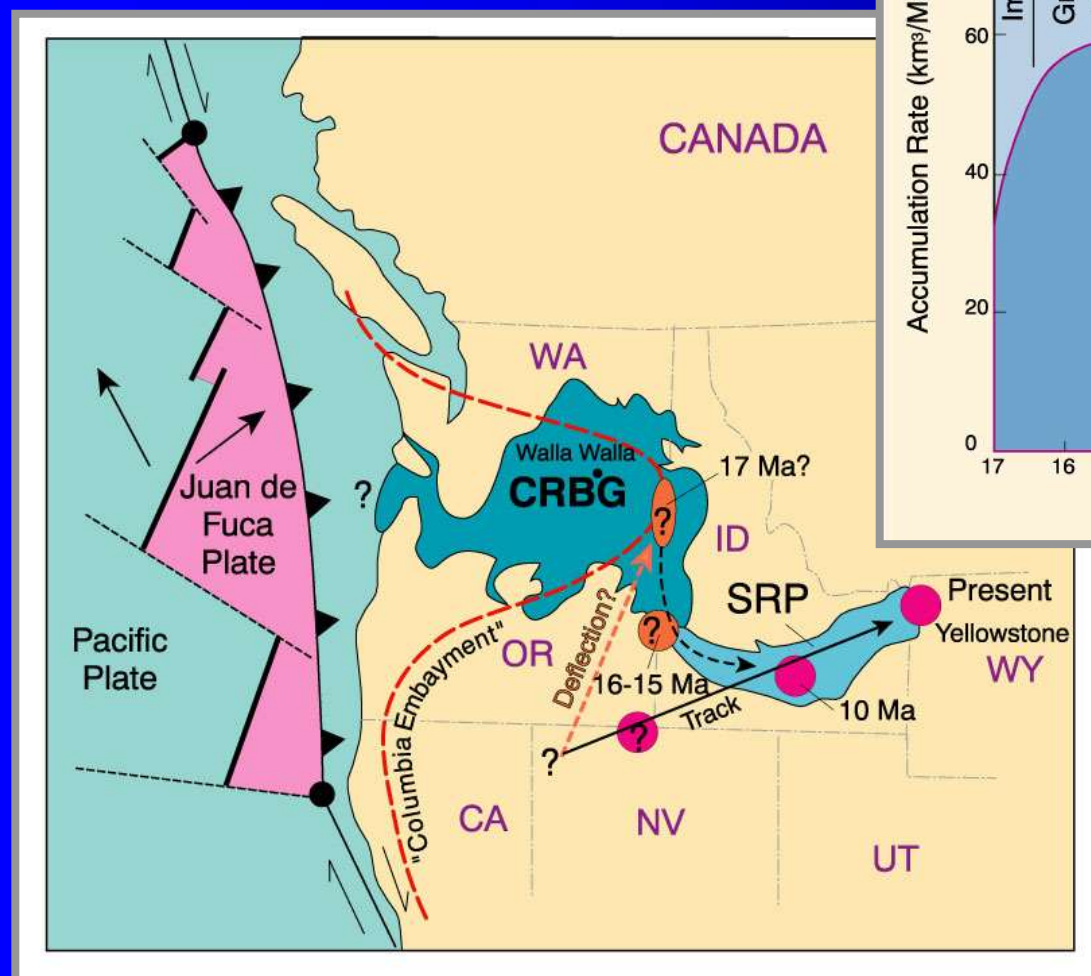


ГОРЯЧАЯ ТОЧКА
о. Тристан-да-Кунья

ПЛАТО ДЕКАН: исходное положение



ГЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ПЛАТО Р. КОЛУМБИЯ (CRB) И ПРИМЫКАЮЩИХ ОБЛАСТЕЙ (SPR-Yellowstone)

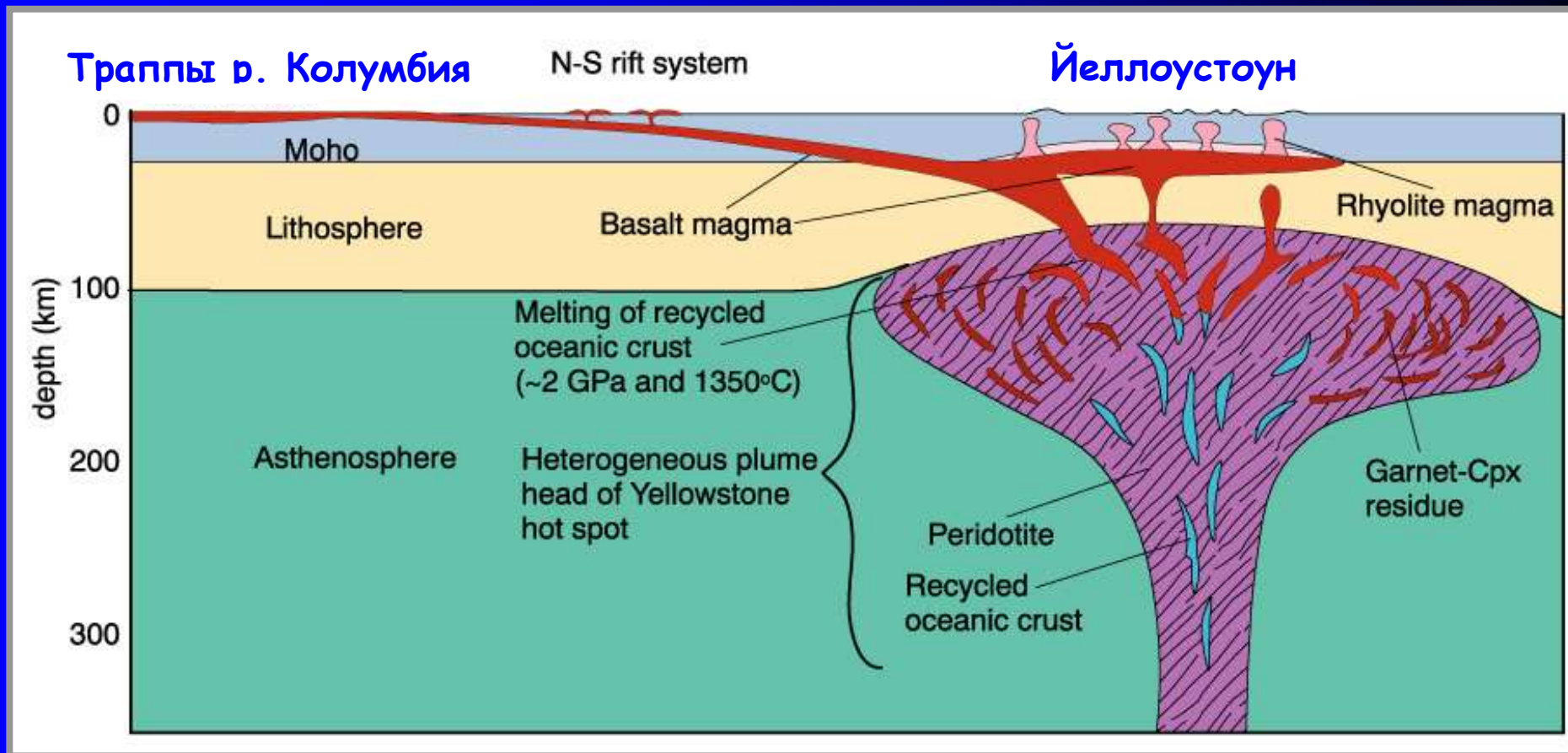


Продуктивность
магматизма плато
р. Колумбия

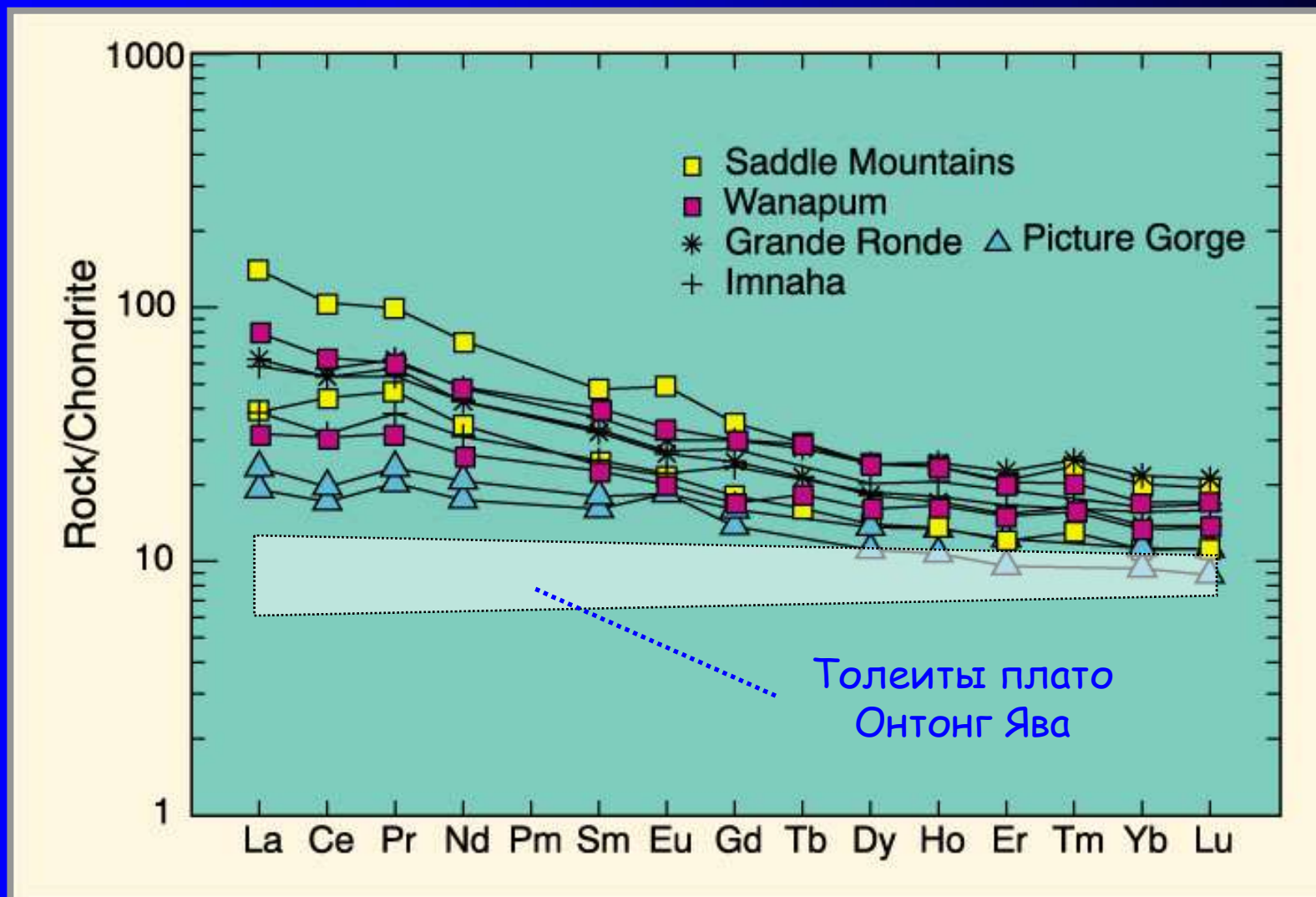
ПОКРОВЫ ЙЕЛЛОУСТОНОВСКОГО ПАРКА В США



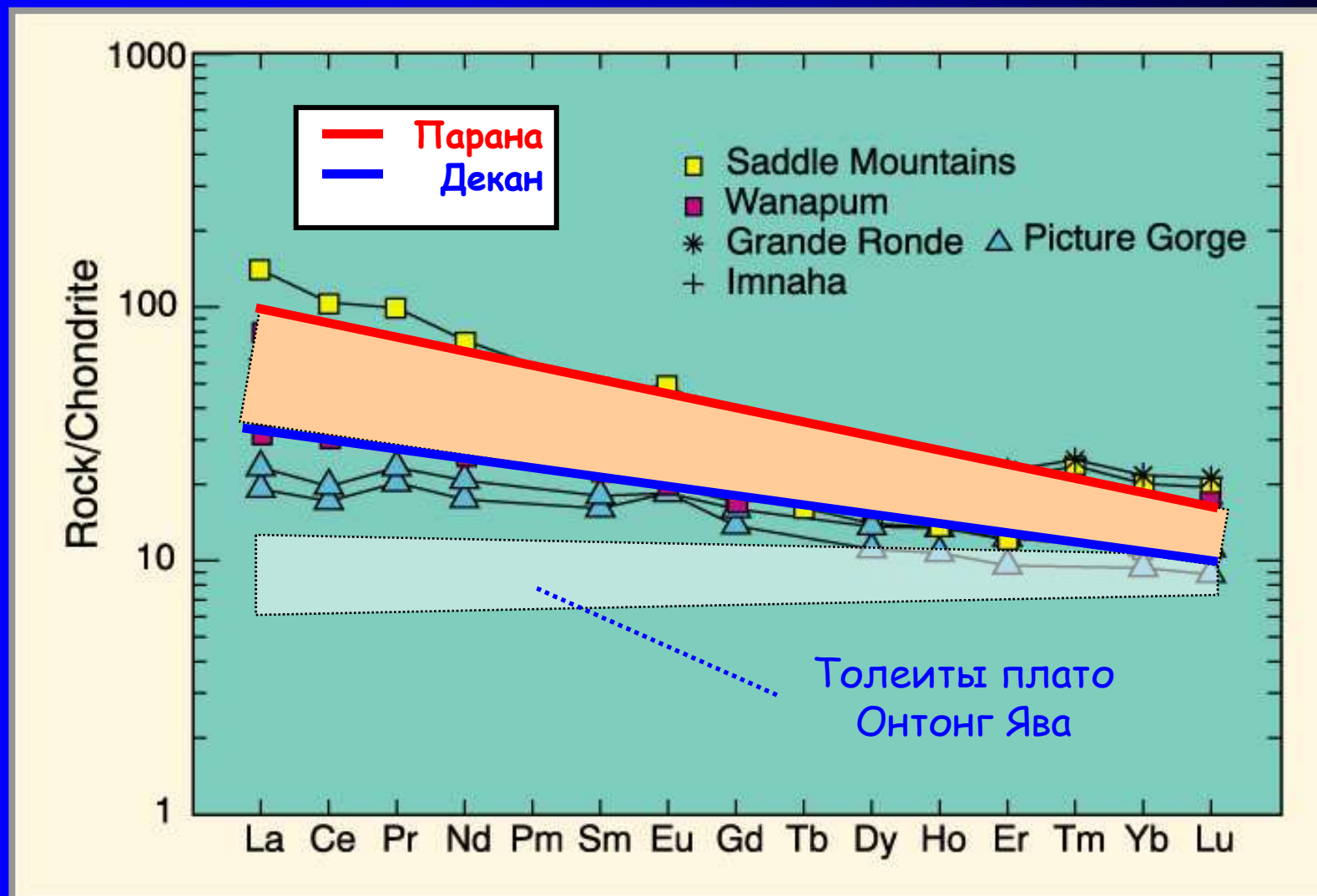
ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКАЯ СХЕМА МИОЦЕНОВОГО МАГМАТИЗМА северо-запада США



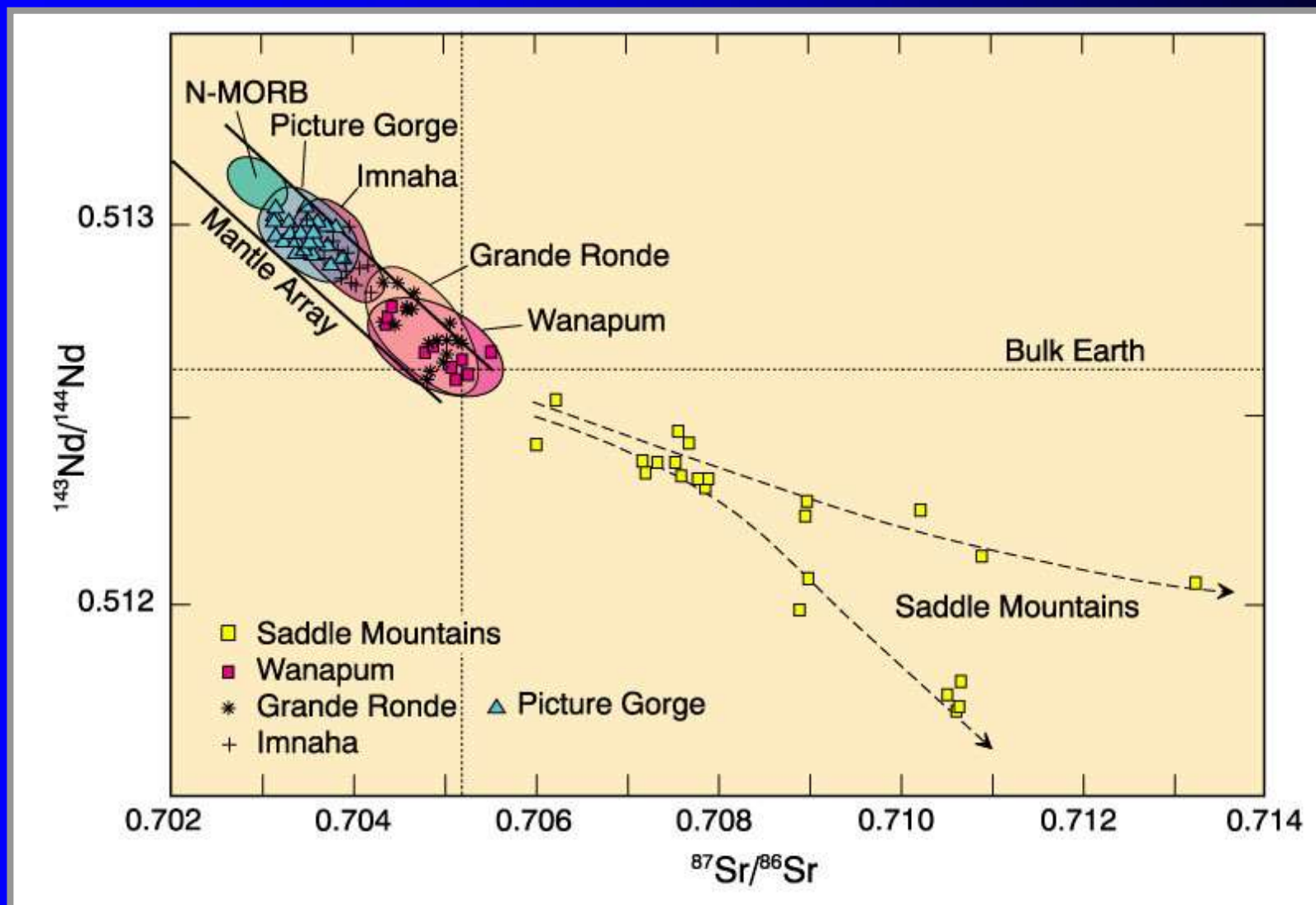
РАСТРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ПЛАТО Р. КОЛУМБИЯ



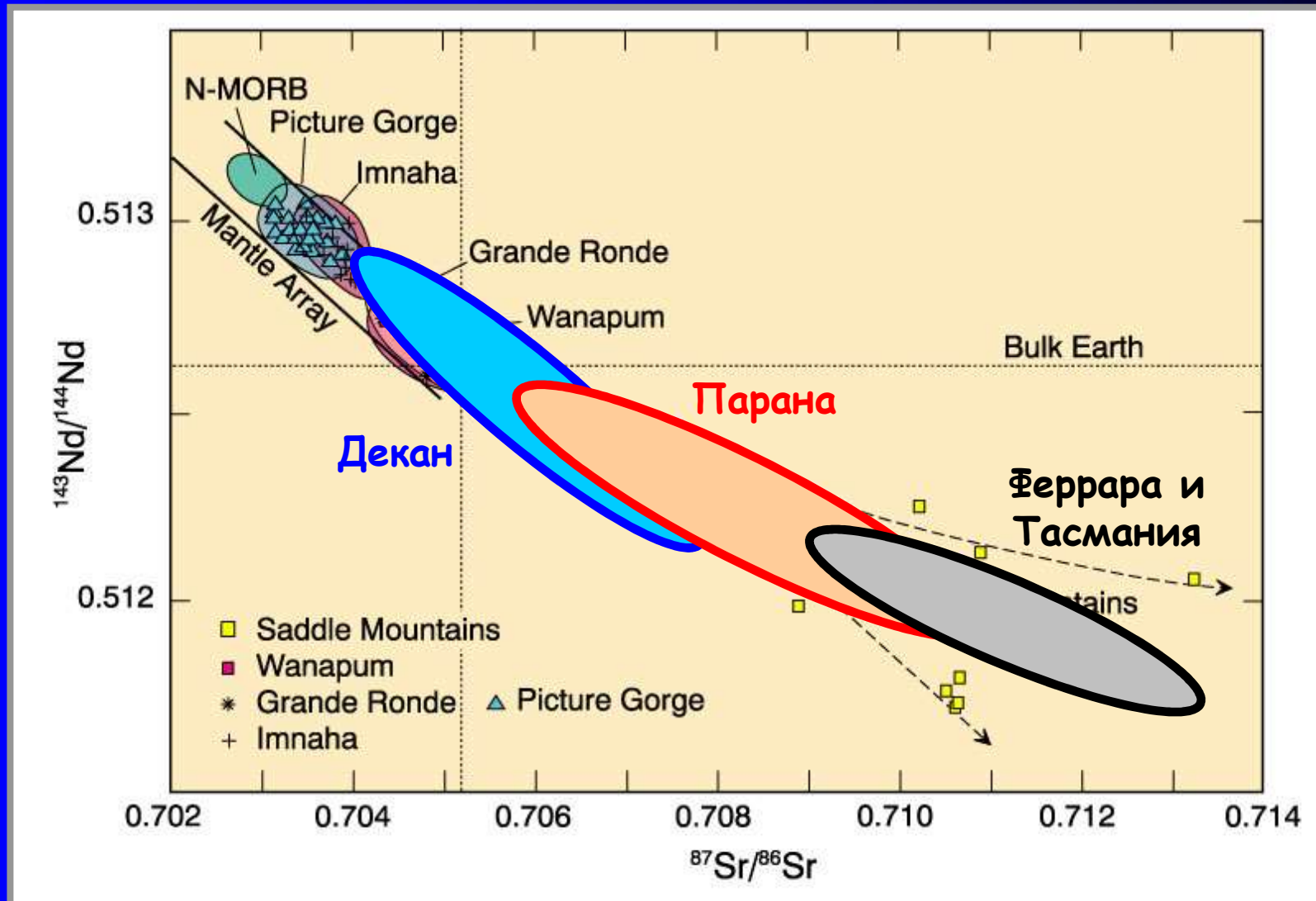
РАСТРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЛАТОБАЗАЛЬТАХ ПАРАНЫ И ДЕКАНА



Sr-Nd СИСТЕМАТИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ПЛАТО Р. КОЛУМБИЯ



SR-ND СИСТЕМАТИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ПЛАТОБАЗАЛЬТОВЫХ ПРОВИНЦИЙ ТАРАНЫ И ДЕКАНА



**ЛЕЖБИЩА МОРСКИХ ЛЬВОВ НА СКАЛАХ
ТАСМАНСКОГО ДОЛЕРИТА**





ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ БАЗАЛЬТОВЫХ ТРАПТТОВ ФЕРРАРА, ТАСМАНИИ И ПАРАНЫ

Оксиды	Диабазы Феррара (Антарктида)		Тасманский долерит	Базальты Параны (Бразилия)	
SiO ₂	50.40	53.75	53.4	54.20	50.82
TiO ₂	0.44	0.70	0.6	1.53	2.79
Al ₂ O ₃	15.51	14.23	15.4	14.74	14.15
FeO	8.72	9.62	9.1	11.70	13.49
MnO	0.17	0.18	0.10	0.17	0.20
MgO	10.60	6.64	6.7	4.54	4.81
CaO	10.87	10.60	11.1	8.77	9.40
Na ₂ O	1.42	1.83	1.7	2.71	2.70
K ₂ O	0.37	0.81	1.0	1.41	1.21
P ₂ O ₅	0.08	0.18	0.1	0.23	0.43
Mg#	0.682	0.552	0.568	0.409	0.389

$$Mg\# = MgO / (MgO + FeO)$$

ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ ТИКРИТОВ И БАЗАЛЬТОВ ПРОВИНЦИИ КАРРУ (ЮЖНАЯ АФРИКА)

Оксиды	Вулканические породы Карру				Плато Онтонг Ява
	Тикриты		Низко-Ti серия		
SiO ₂	48.96	48.87	50.22	50.17	49.25
TiO ₂	2.74	0.72	0.97	1.55	1.20
Al ₂ O ₃	8.98	14.11	15.54	13.54	14.00
FeO	12.04	10.19	9.83	13.56	11.42
MnO	0.13	0.16	0.17	0.22	0.21
MgO	15.48	15.08	7.36	5.28	7.75
CaO	8.50	8.89	10.21	10.26	12.35
Na ₂ O	1.62	1.56	2.06	2.63	2.05
K ₂ O	0.90	0.21	0.22	0.28	0.14
P ₂ O ₅	0.34	0.09	0.17	0.19	0.06
Mg#	0.696	0.725	0.572	0.410	0.547

$Mg\# = MgO / (MgO + FeO)$

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЭФФУЗИВНЫХ И ИНТРУЗИВНЫХ ТРАППОВ

Большинство трапповых провинций сложено базальтами и долеритами, представляющими насыщенные (с *нормативным гиперстеном*) или кварцевые толеиты.

Они проявляют высокую степень накопления железа и по формальным признакам относятся к ферробазальтам.

В ряде провинций эти толеитовые ферробазальты ассоциируют с кислыми породами – риолитами и риодацитами.

Субщелочных и щелочных пород встречается крайне мало.

Высокомагнезиальные породы в целом редки. Хотя в настоящее время появляется все больше новых данных о магнезиальных базальтах из отдельных вулканических свит.

В субвулканическом комплексе трапповой формации преобладают мелко-среднезернистые долериты, комагматичные ферробазальтам толеитовой серии.