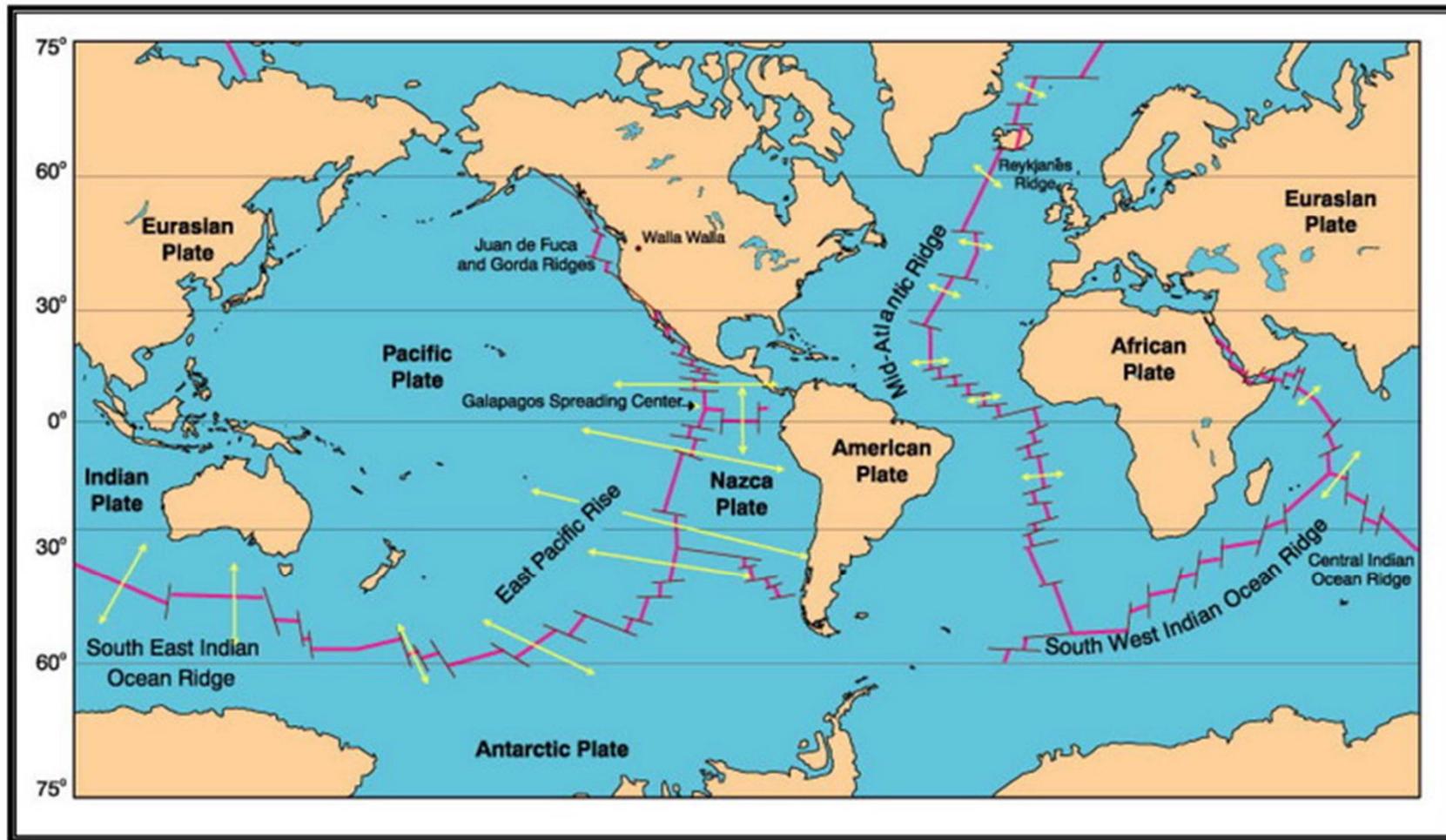


# Формация толеитовых базальтов СОХ

П.Ю.Плечов, МГУ

ЛЕКЦИЯ 3, 2011

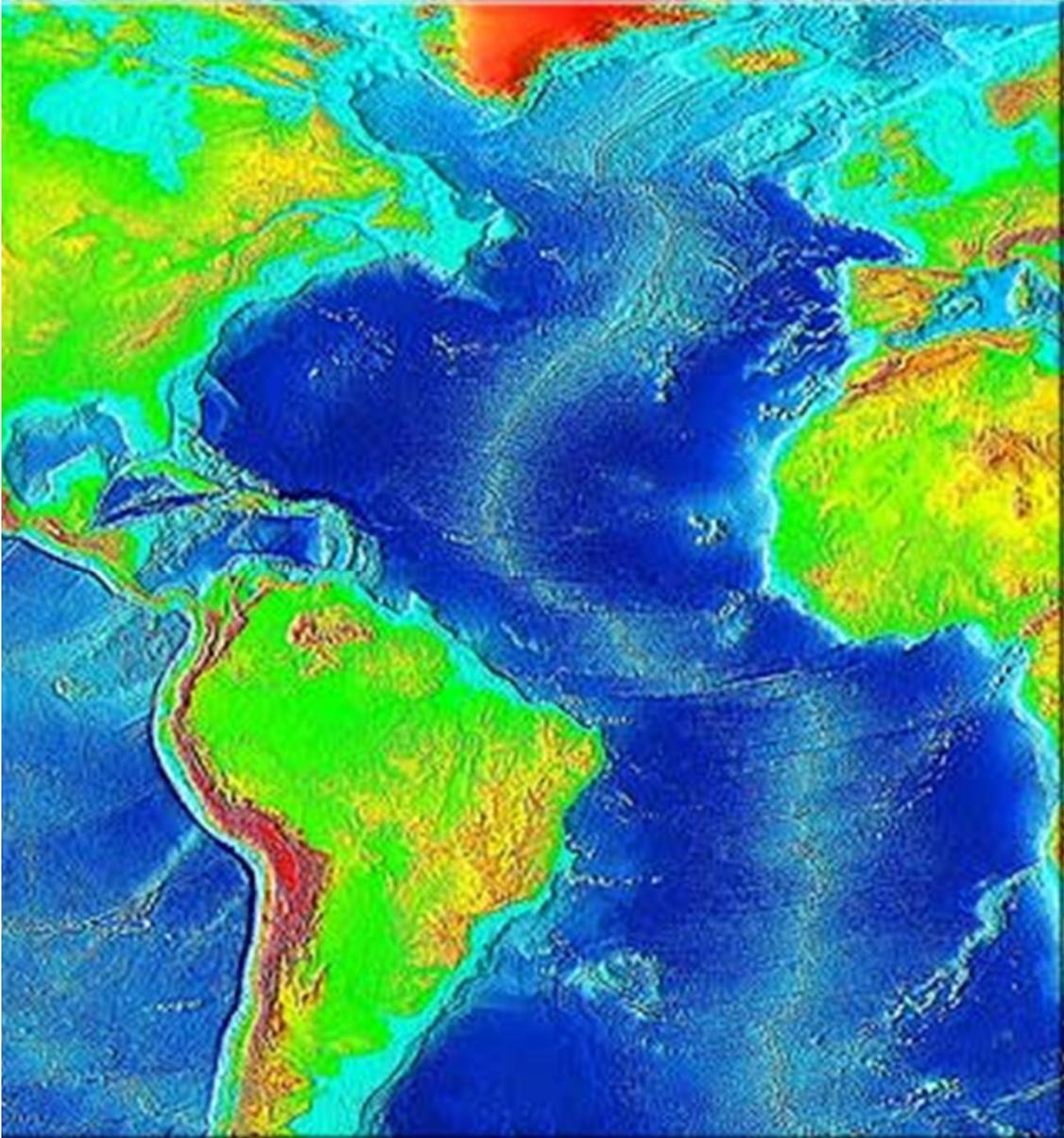
## МИРОВАЯ СИСТЕМА СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИХ ХРЕБТОВ



по [Minster et al., 1974]

Величина желтых стрелок пропорциональна скорости спрединга. Самый быстрый спрединг замерен в Восточно-Тихоокеанском поднятии (до 8 см/год). По скорости спрединга рифты делятся на медленные ( $< 3$  см/год) и быстрые ( $> 5$  см/год)

## Срединно-Атлантический хребет



Длина свыше 18 тыс. км.

Севернее Исландии:  
хребет Книповича (от 81 до 73°  
с.ш.),  
хребет Мона  
Исландско-Янмайенский хребет

Южнее Исландии  
хребет Рейкьянес (до 52 ° с. ш.)  
Северо-Атлантический хребет

Южнее экватора  
Южно-Атлантический хребет



Пиллоу-лавы с заполнением известняком,  
Новая Зеландия, Юж.Остров



Свежие пиллоу-лавы,



Richard Pyle, Гавайи

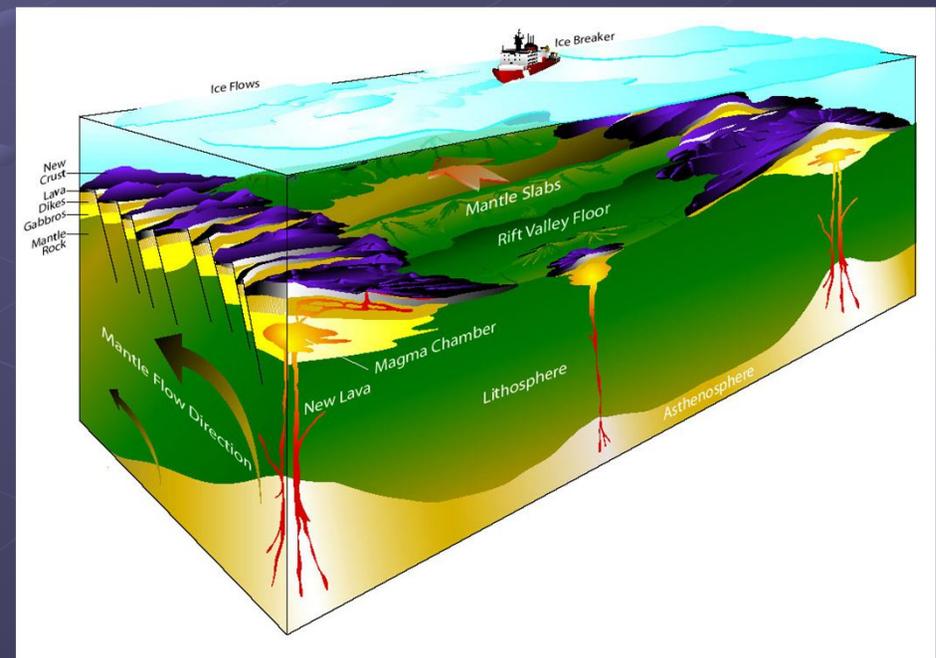


Рифтовая долина при быстром спрейндинге



Рифтовая долина при медленном спрейндинге

# Зависимость морфологии рифтовой долины от скорости спрейндинга



Сверхмедленный спрейндинг на хребте Гаккеля, Dick et al., Nature, 2003



# Схема разделения слоев океанической коры по скоростям Сейсмических волн, по [Brown&Mussett,1993]

Lithology	Ocean Crustal Layers	Typical Ophiolite	Normal Ocean Crust	
		Thickness (km)	P wave vel. (km/s)	
Deep-Sea Sediment	1	~ 0.3	0.5	1.7 - 2.0
Basaltic Pillow Lavas	2A & 2B	0.5	0.5	2.0 - 5.6
Sheeted dike complex	2C	1.0 - 1.5	1.5	6.7
Gabbro	3A	2 - 5	4.7	7.1
Layered Gabbro	3B			
Layered peridotite	4	up to 7		8.1
Unlayered tectonite peridotite				

Подтверждающие данные:  
 (ODP - ocean drilling program;  
 DSDP - Deep Sea Drilling Program)

драгирование зон трансформных разломов

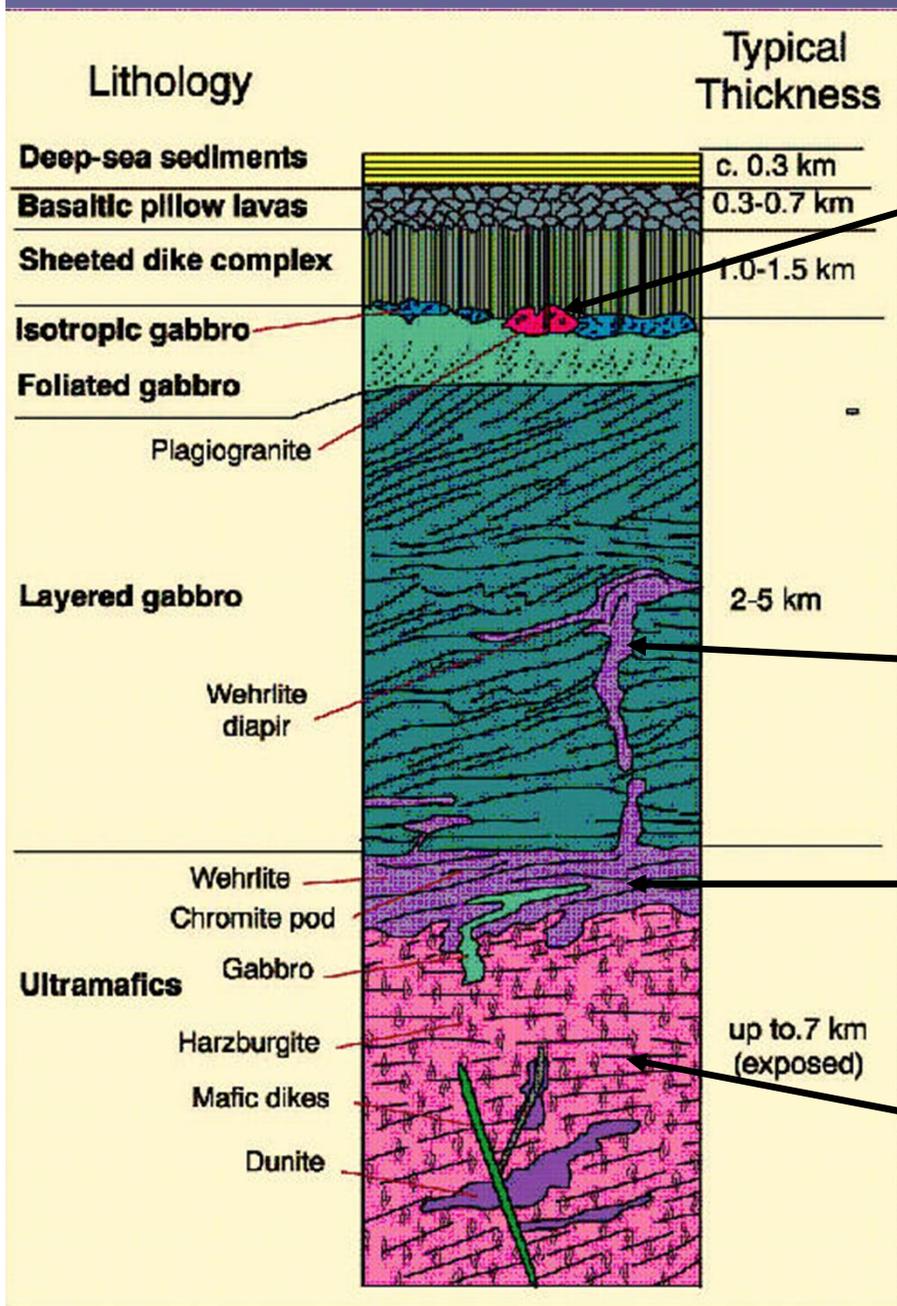
изучение офиолитовых формаций на суше

# Офиолиты Троодоса (дайковый комплекс)

Aus Schmincke (1986), Vulkanismus



# Строение слоев и мощности классической офиолитовой последовательности офиолитов Самиял (Оман) [Boudier&Nicolas, 1985]



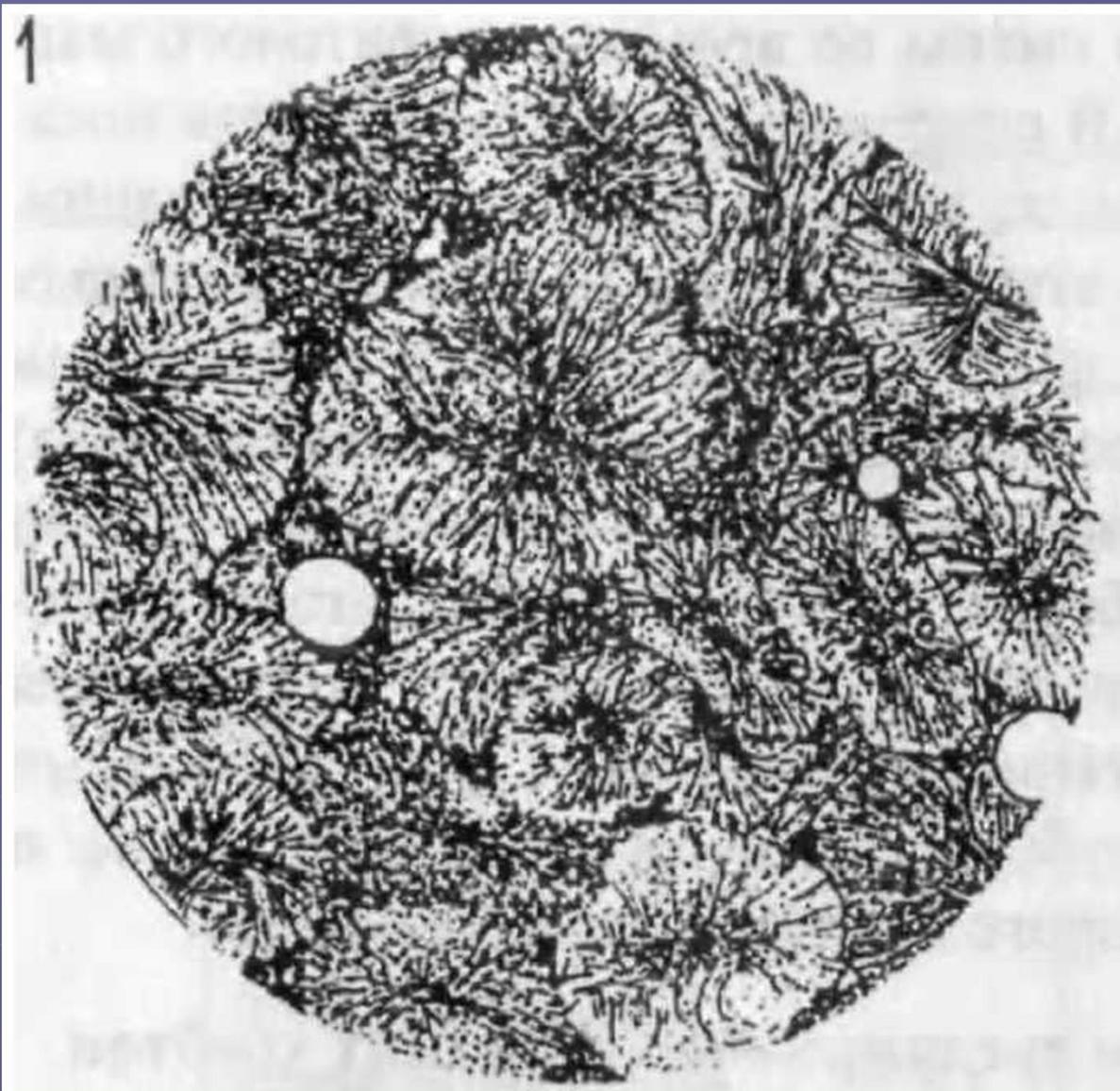
Характерные «осложняющие элементы»:

Бескорневые диориты и тоналиты (на рисунке plagiogranite)

расслоенные кумулятивные верлиты и габбро. Верлиты часто проникают в расслоенные габбро.

расслоенные перидотиты с кумулятивными структурами

тектонизированные дуниты и гарцбургиты (нерасплавленный остаток исходной магмы)

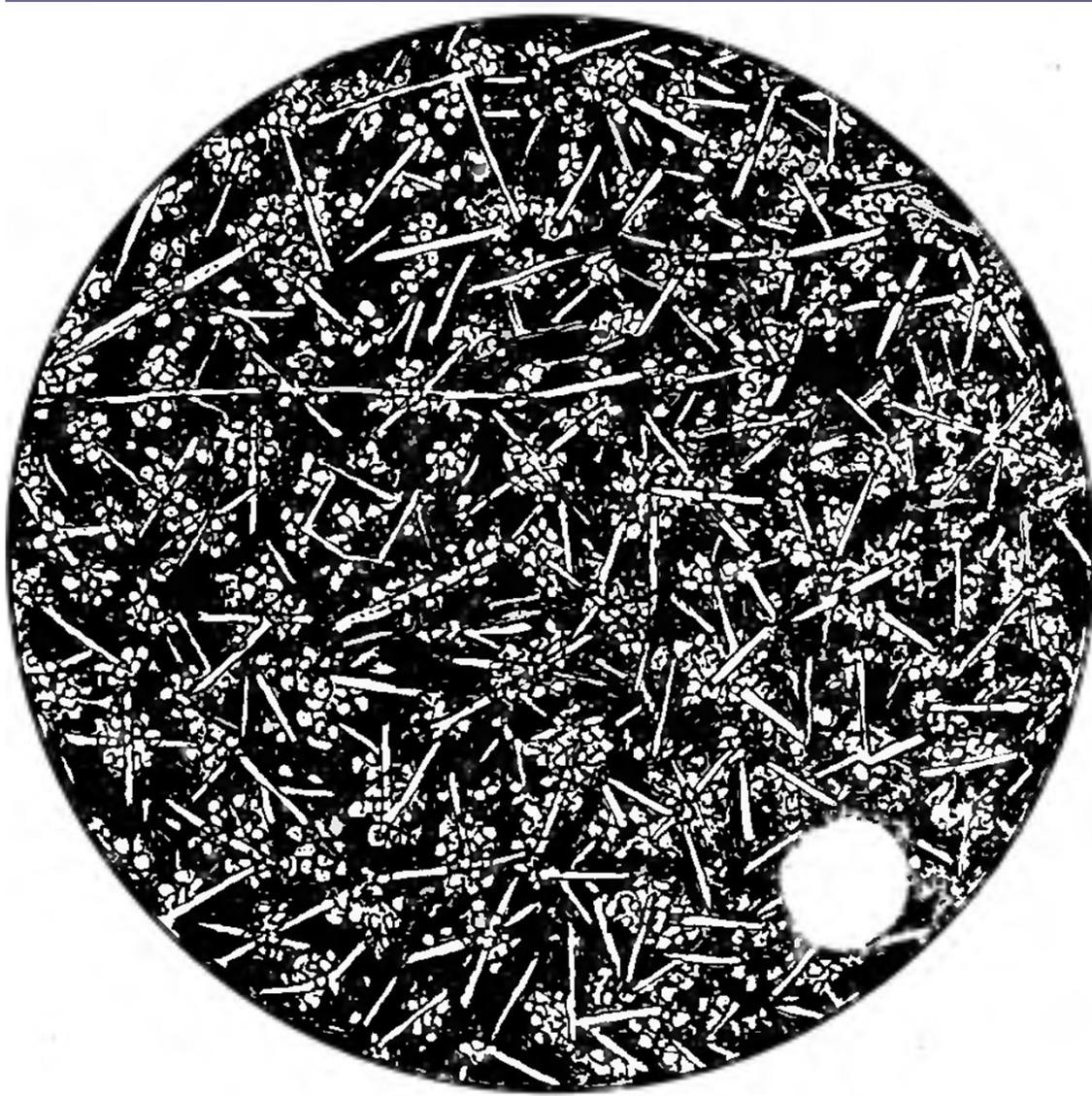


Лапин, Фролова, 1992

Базальт толеитовый (д=0,9 мм). Тихий океан, хр. Хуан-де-Фука. Структура афировая, вариолитовая. Вариоли сложены преимущественно буроватым игольчатым и длиннопризматическим клинопироксеном и редкими лейстами измененного плагиоклаза



Basalt from Hole 856H, Middle Valley, Juan de Fuca Ridge, Leg 169. Field of view = 2.5 mm, cross-polarized light. Plagioclase phenocrysts in basaltic glass show hopper-car, boxy, and acicular habits.



916/107 Базальт. Хр. Хуан-де-Фука,  
44°38" с.ш., 130°20' в.д.,  
гл. 1900 м, d-1.8 мм  
Структура афировая, основная  
масса гиалопилитовая.  
Особенностью структуры  
является нарастание на  
беспорядочно расположенные  
удлиненные лейсты  
плагиоклаза кучковидных  
скоплений мелких  
изометричных зерен  
климопироксена, погруженных в  
непрозрачное вулканическое  
стекло.  
В породе встречаются редкие  
округлые, правильной формы  
пустоты, частично выполиенные  
хлоритом или цеолитом.

Фролова, Лапин предлагают название структуры «берри» (ягода), потому что она похожа на ветки облепихи (sea-buckthorn)

893-1\*. Гиалобазальт. Хр. Хуан-де-Фука, 44°37' с.ш., 130°24' в.д., гл. 1900 м,  
D = 3,1мм.

Структура афировая. основная масса гиалопилитовая, с элементами сфагновой, текстура флюктуационная и атакситовая. Рисунок показывает фрагмент частично раскристаллизованного участка непрозрачного вулканического стекла, в котором отражена комбинация метельчатой и гиалопилитовой структур, а также структуры обрастания микролитов плагиоклаза изометричными зернышками пироксена (структура берри). Стекловатые части породы содержат ориентированные лейсты плагиоклаза, подчеркивающие динамичное становление лавы. Присутствуют редкие и мелкие пустотки.



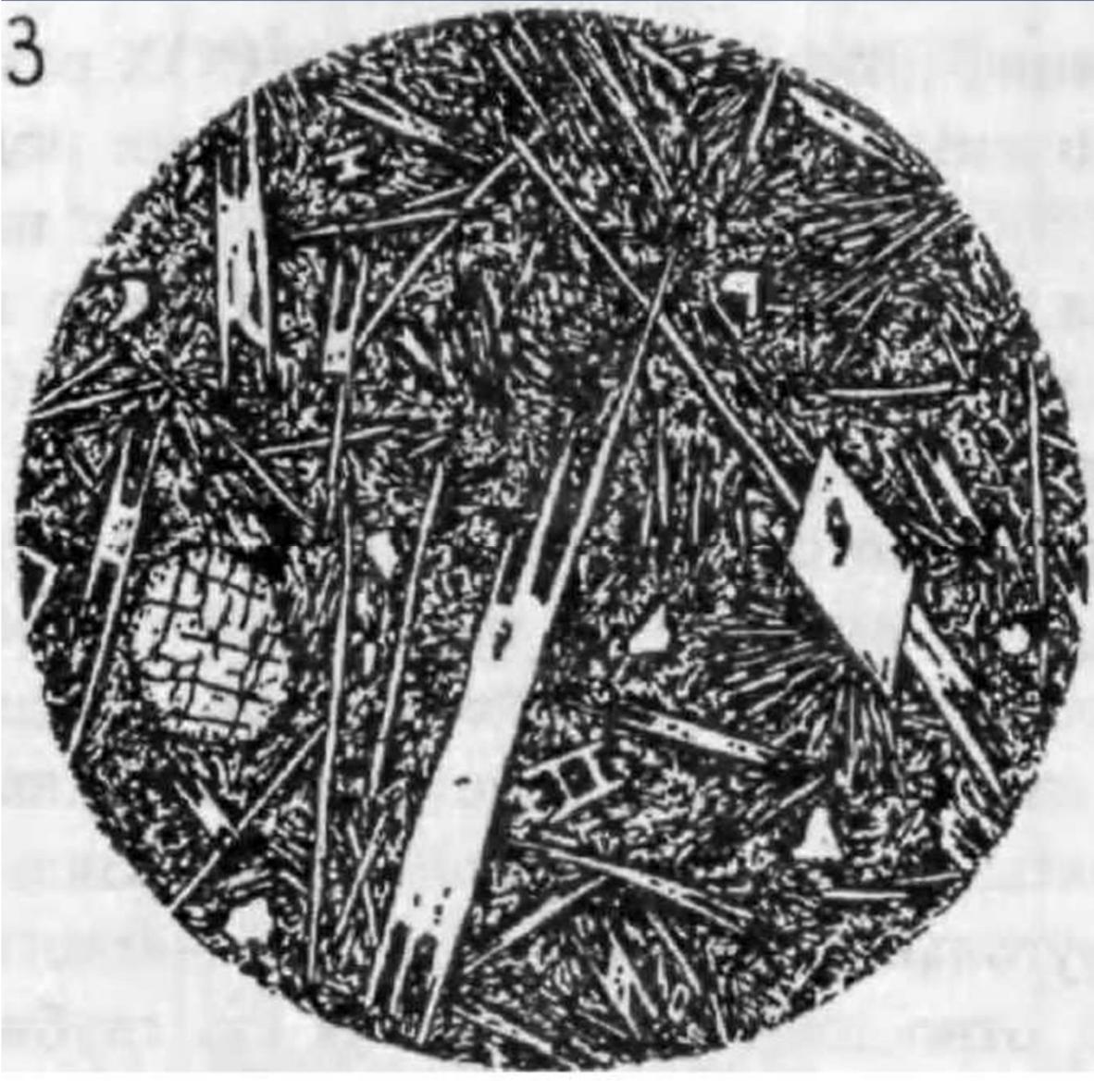


1016-9/2. Базальт толеитовый.  
Восточно-Тихоокеанское  
подняние,  
25°00'ю.ш., 108°20' з.д., гл. 3295-  
3677 м, d = 3,1 мм.  
Структура гломеропорфировая,  
основная масса гиалопилитовая.  
Плагиоклаз преобладает и  
встречается в виде крупных  
зерен, образующих  
иногда гломеровые сростки, а  
также в виде лейст и микролитов  
в основной массе. Плагиоклазы  
погружены в стекловатый базис  
с мельчайшим агрегатом и  
перистыми срастаниями слабо  
индивидуализированного  
клинопироксена. Вне поля  
зрения встречаются редкие  
разрозненные фенокристы  
клинопироксена, резко  
подчиненные плагиоклазу.

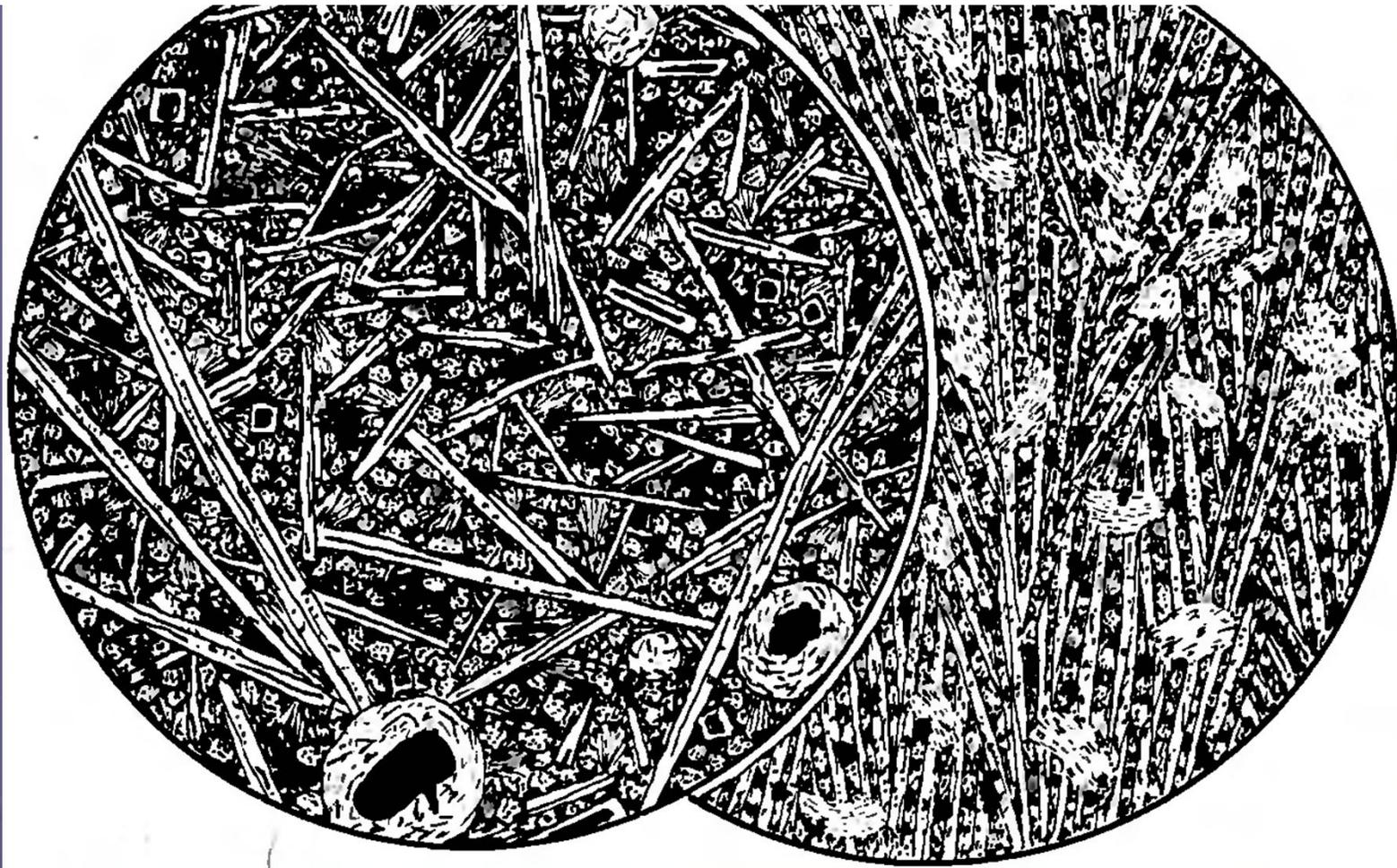


998/1. Долерит. Восточно-Тихоокеанское поднятие, 39°00' ю.ш., 103°00' з.д., гл. 3693-3773 м,  $d = 1,8$  мм. Структура долеритовая, с преобладанием клинопироксена над плагиоклазом. Особенностью структуры является наличие двух морфологических типов клинопироксенов: пижонита, в виде идиоморфных изометричных, часто округлых зерен, занимающих интерстиции между плагиоклазами, и авгита в виде шестоватых зерен, собранных в пучки и веера, более позднего по времени. Часть зерен пироксена хлоритизирована и амфиболитизирована. Рудный минерал образует поздние равномерно и кучно распределенные выделения, ассоциирующие с небольшим количеством стекла. Встречаются редкие округлые пустоты.

3



Базальт толеитовый (д=1,8 мм). Атлантический океан, трог Ройял. Структура порфировая, основная масса метельчатая. В порфировых включениях - плагиоклаз. Игольчатые торпевые окончания плагиоклаза свидетельствуют о незавершенности роста.

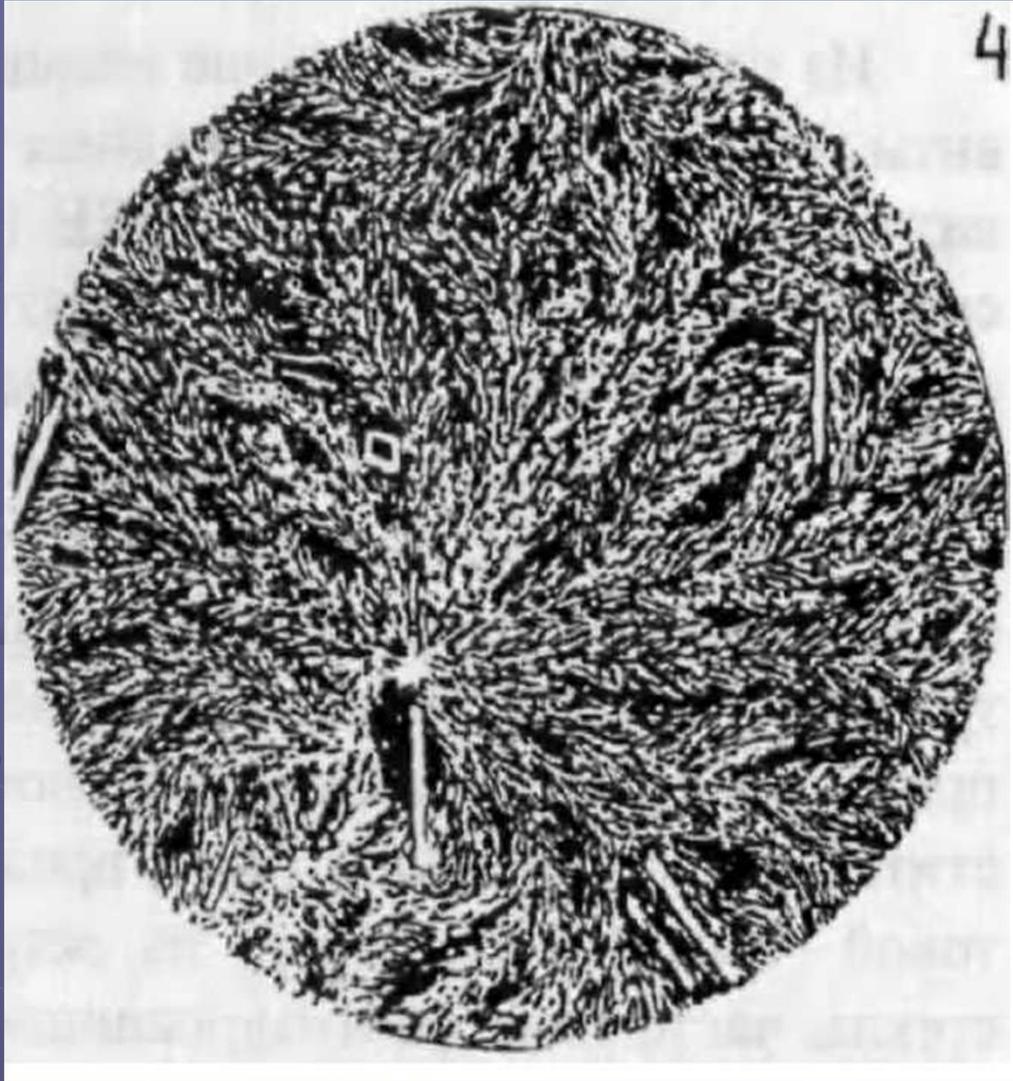


Долерит. Трог Ройял, оперяющий Зеленомысский разлом с севера,  
16°04" с.ш., 48°40' з.д., гл. 5250-5190 м.

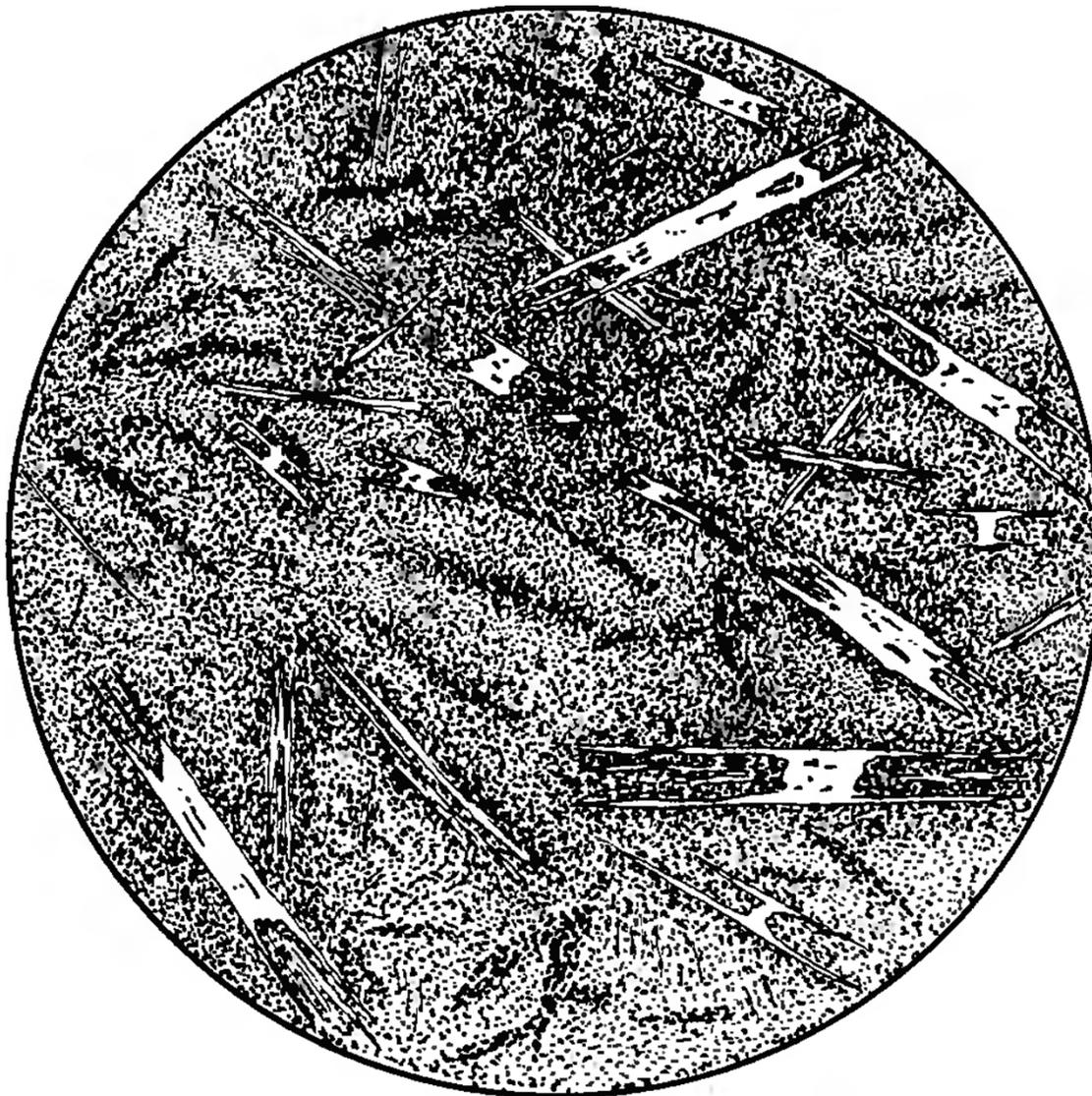
а) Д50/1а\*, d = 6,7 мм. Структура долеритовая, текстура миндалекаменная. Своеобразие структуры заключается в наличии беспорядочно расположенных тонких удлиненных индивидов плагиоклаза, между которыми размещены мелкие зерна клинопироксена и рудный минерал (магнетит). Иногда пироксен представлен игольчатыми кристаллами, сросшимися в виде метелочек, вокруг которых развивается хлорит. Миндалины распределены равномерно, сложены хлоритом либо хлоритом и рудным.

о) Д50/9а, d = 3,1 мм. Структура долеритовая, лучистая, полнокристаллическая. На рисунке показан фрагмент сложно расходящихся длиннопризматических кристаллов плагиоклаза; клинопироксен в виде зерен и призм и магнетит располагаются между плагиоклазами. По всей породе мелкими сближенными пятнами распространен хлорит.

Типы структур толеитовых базальтов срединно-океанических хребтов  
Мирового океана (Лапин, Фролова. 1992)



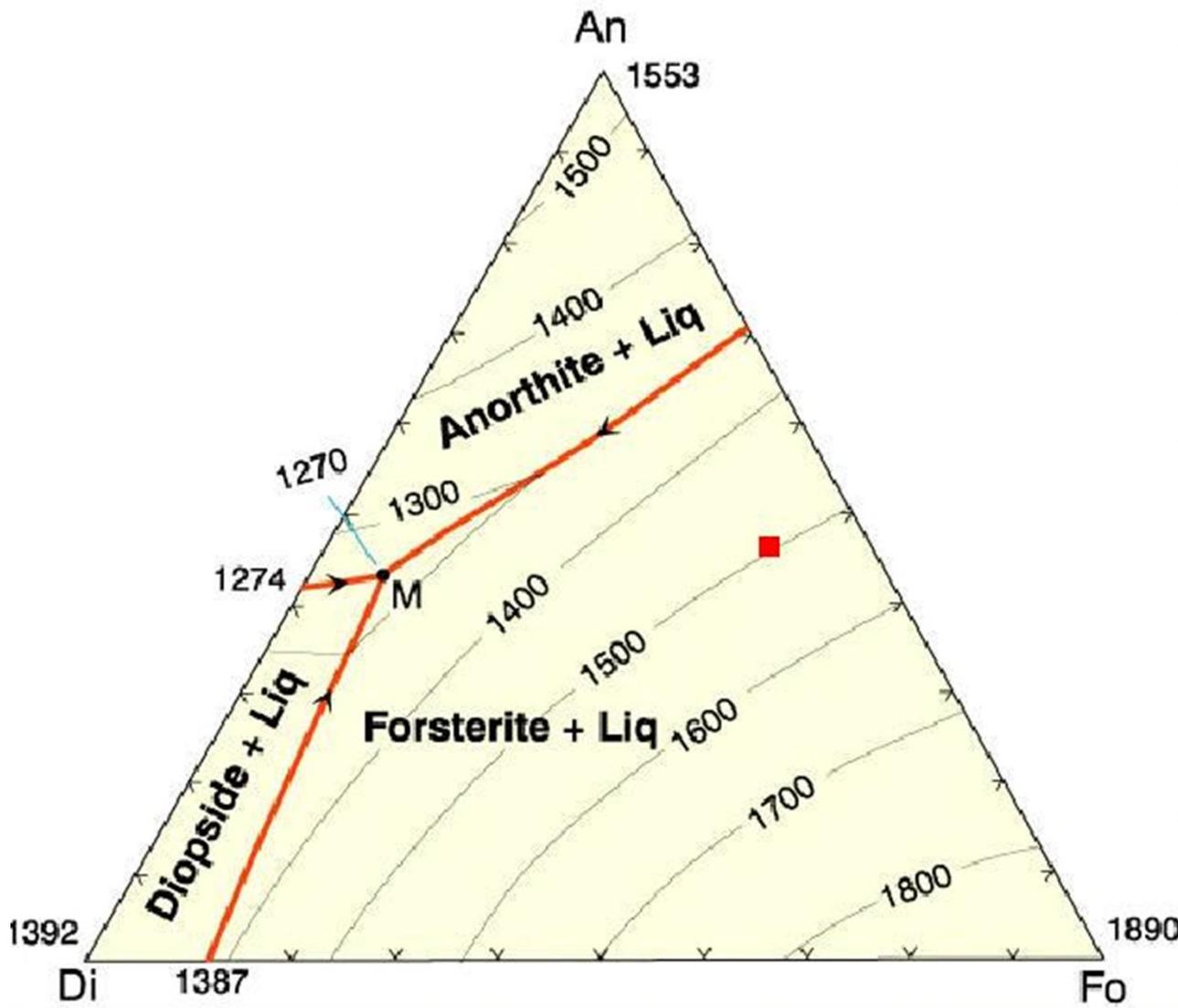
Базальт толеитовый (д3,1 мм).  
Индийский океан, Аравийско-  
Индийский хребет. Структура  
афировая, основная масса  
перистая, сложена длинными и  
короткими лейстами  
плагиоклаза, образующими  
метельчатые и веерообразные  
срастания.  
Интерстиции заполнены  
стеклом с мельчайшими  
зернышками пироксена



2164/3. Гиалобазальт.  
Аравийско-Индийский хребет,  
06°20' с.ш., 60°13' в.д., гл. 3000  
м, d = 0,9 мм.

Структура, афировая, основная  
масса гиалопилитовая, текстура  
пятнистая. Порода представлена  
вулканическим стеклом, в  
котором хаотично  
распределены мельчайшие  
лейсты плагиоклаза, часть из  
них обладает скелетными  
формами незавершенного  
роста.

Стекло частично  
девитрифизировано с  
образованием не реагирующих  
на поляризованный свет  
глинистых минералов,  
сгруппированных по  
трещинкам и возле лейст  
плагиоклаза. Процесс частичной  
девитрификации стекла привел к  
рельефно выраженному  
пятнистому строению.



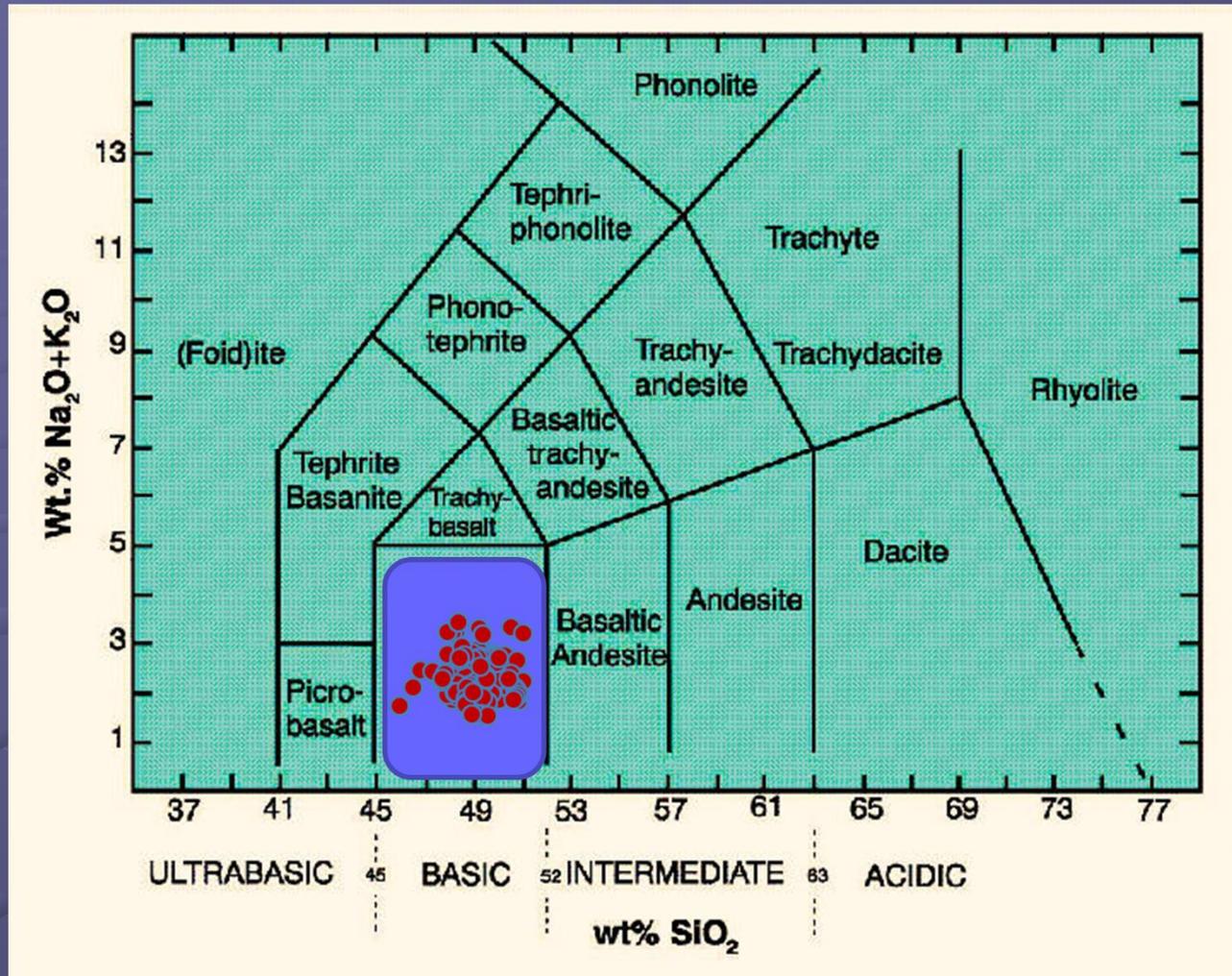
Порядок кристаллизации для MORB:

1. оливин+хромшпинелид
2. оливин, плагиоклаз (±хромшпинелид)
3. оливин, плагиоклаз, клинопироксен

Система Диопсид-Анортит-Форстерит по [Bowen, 1916], отражающая порядок кристаллизации в MORB.

Красный квадратик в поле кристаллизации оливина отражает исходный состав расплава.

# Петрохимическая классификация пород СОХ



## Типичные базальты MORB

**Table 13-2.** Average Analyses and CIPW Norms of MORBs (BVTP Table 1.2.5.2)

Oxide (wt%)	All	MAR	EPR	IOR
SiO <sub>2</sub>	50.5	50.7	50.2	50.9
TiO <sub>2</sub>	1.56	1.49	1.77	1.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.3	15.6	14.9	15.2
FeO*	10.5	9.85	11.3	10.3
MgO	7.47	7.69	7.10	7.69
CaO	11.5	11.4	11.4	11.8
Na <sub>2</sub> O	2.62	2.66	2.66	2.32
K <sub>2</sub> O	0.16	0.17	0.16	0.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.12	0.14	0.10
Total	99.74	99.68	99.63	99.64
Norm				
q	0.94	0.76	0.93	1.60
or	0.95	1.0	0.95	0.83
ab	22.17	22.51	22.51	19.64
an	29.44	30.13	28.14	30.53
di	21.62	20.84	22.5	22.38
hy	17.19	17.32	16.53	18.62
ol	0.0	0.0	0.0	0.0
mt	4.44	4.34	4.74	3.90
il	2.96	2.83	3.36	2.26
ap	0.30	0.28	0.32	0.23

All: Ave of glasses from Atlantic, Pacific and Indian Ocean ridges.

MAR: Ave. of MAR glasses. EPR: Ave. of EPR glasses.

IOR: Ave. of Indian Ocean ridge glasses.

## Типичные базальты

MORB содержат

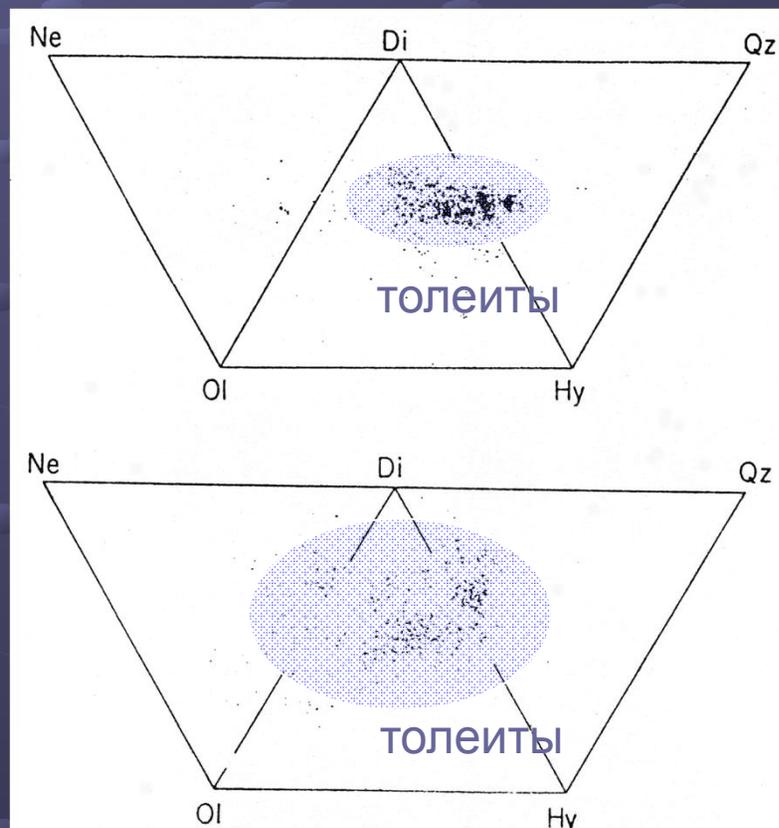
K<sub>2</sub>O < 0.2 %

TiO<sub>2</sub> 1- 2 %

K/Ti < 0.1

H<sub>2</sub>O < 0.25 wt %

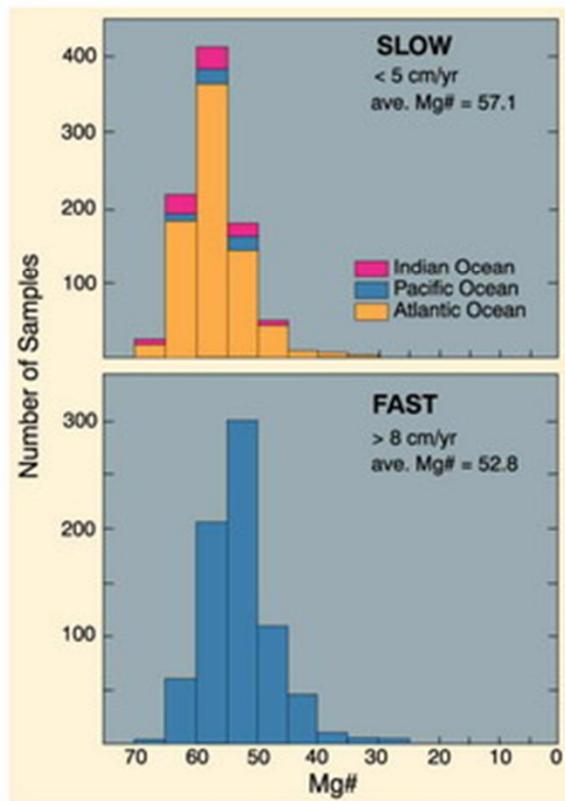
SiO<sub>2</sub> 48.5 – 51.0



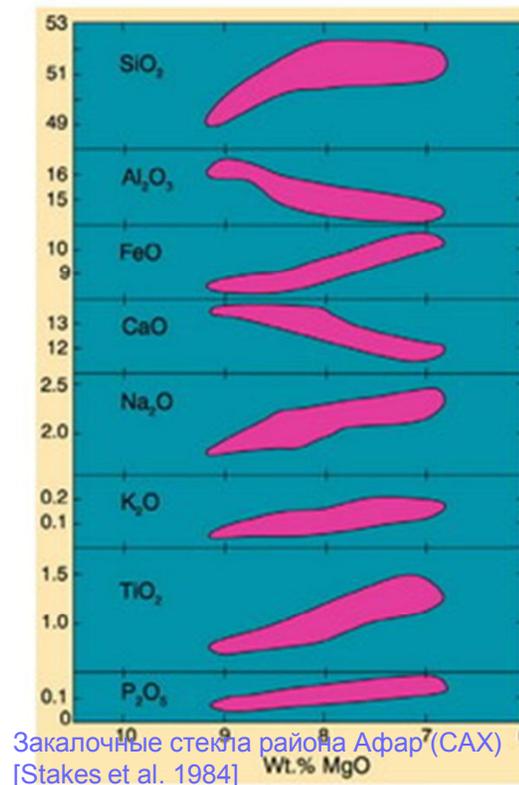
по Bence et al., 1979

## ПРИЗНАКИ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ТОЛЕИТОВЫХ МАГМ СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИХ ХРЕБТОВ

Вариации магнезиальности толеитовых  
стекол из высоко- и низкоскоростных  
спрединговых центров



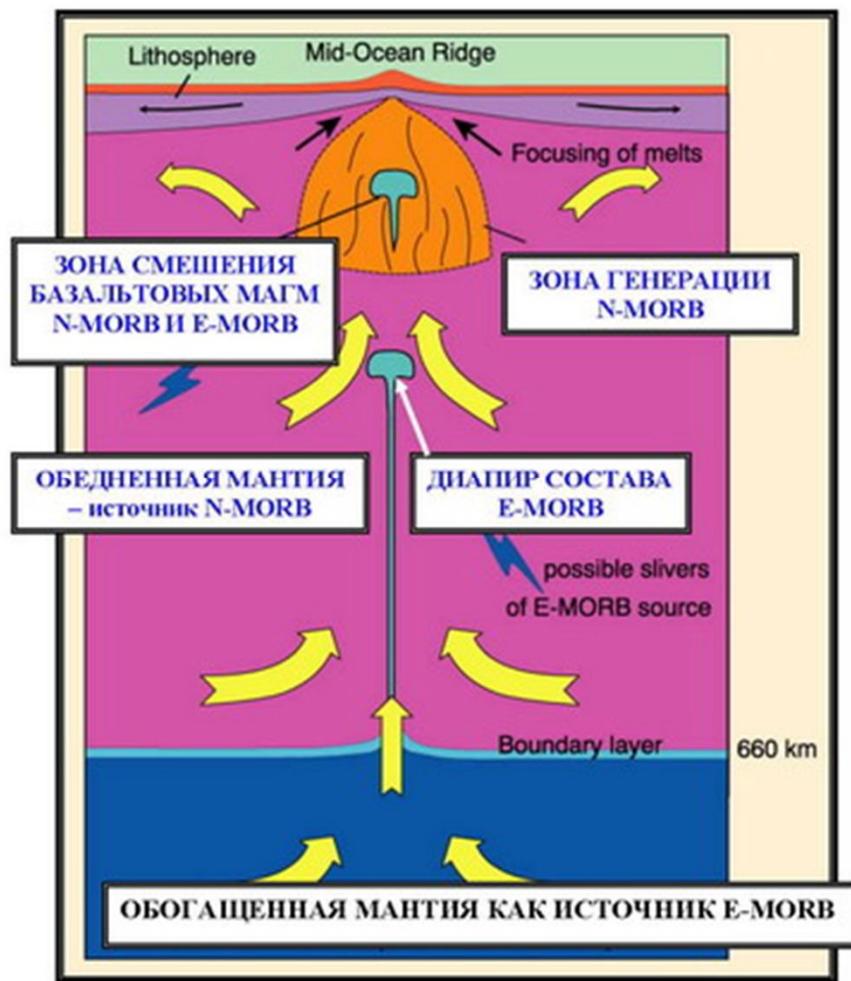
Вариации составов толеитовых стекол  
из спрединговых зон Срединно-  
Атлантического хребта



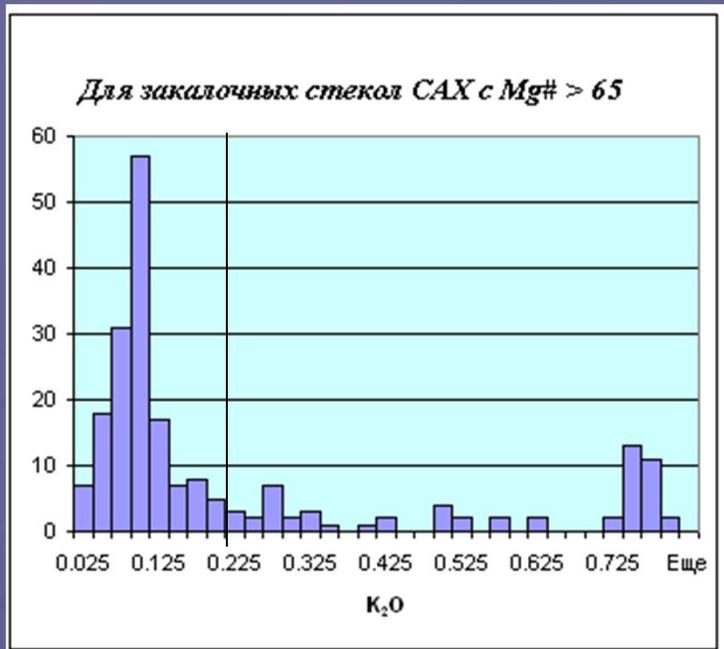
Заключные стекла района Афар (САР)  
[Stakes et al. 1984]



**СХЕМА ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ БАЗАЛЬТОВ N-MORB И E-MORB**

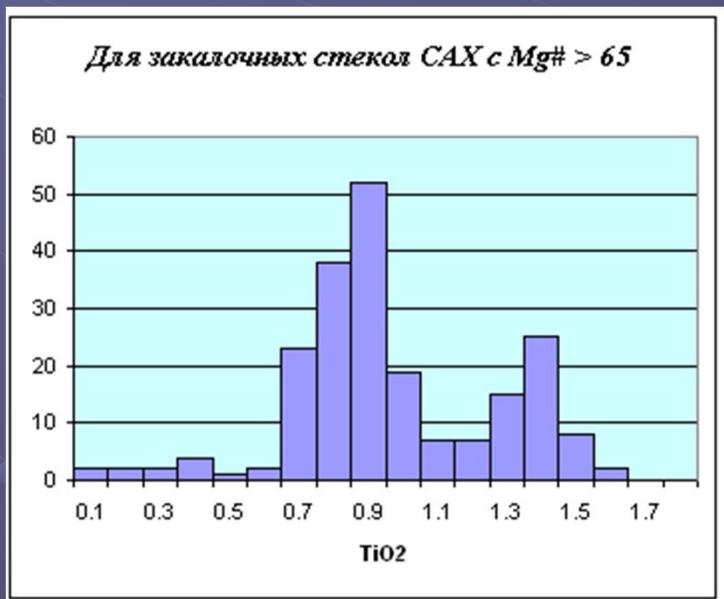


Общая модель плавления мантии под срединно-океаническими хребтами [по Zindler et al., 1984] и [Wilson, 1989]



Гистограмма по K<sub>2</sub>O и TiO<sub>2</sub> для высокомагнезиальных закалочных стекол Срединно-Атлантического хребта. Mg# всех стекол в выборке больше 65, что соответствует содержанию MgO 8-10.5 %.

Слабодифференцированные, близкие к исходным расплавы (с Mg# > 65 или MgO > 8%) отличаются слишком большим разнообразием, чтобы быть производными одного и того же первичного расплава.



Такие большие вариации в области высокомагнезиальных составов, а главное явную бимодальность распределения нельзя объяснить дифференциацией и, скорее всего, это вызвано отличиями в мантийном источнике при образовании исходных расплавов.

Rock/Chondrite

1000

100

10

1

E-MORB

N-MORB

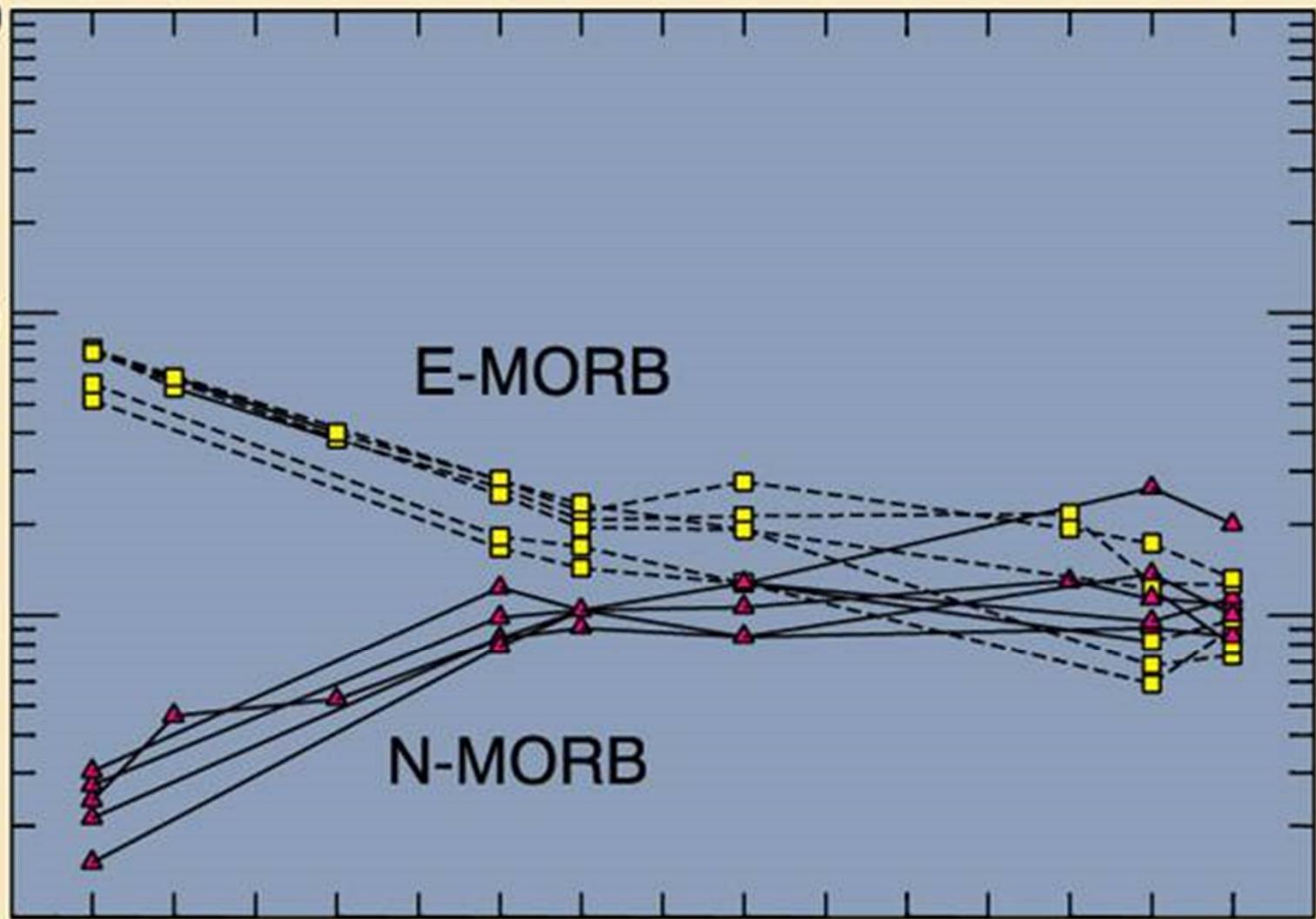
La Ce

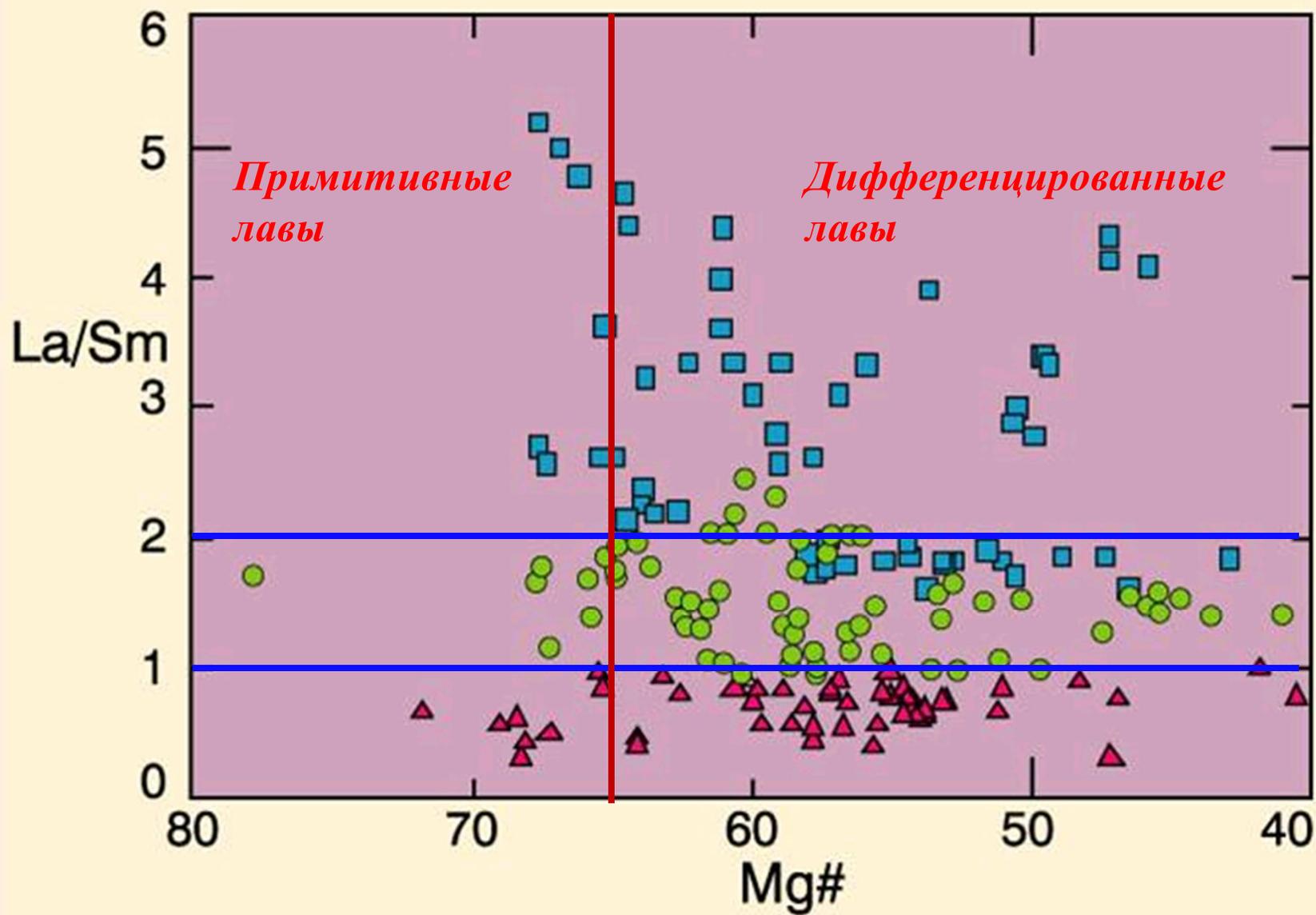
Nd

Sm Eu

Tb

Tm Yb Lu





Разделение MORB по La/Sm отношению. Отношение ниже 1 характерно для N-MORB, выше 2 - для E-MORB (обогащенных), от 1 до 2 - промежуточные, transitional (T-MORB) - показаны зелеными кружочками.

**СОДЕРЖАНИЯ ГЛАВНЫХ И ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТОЛЕИТОВЫХ  
БАЗАЛЬТАХ ТИПОВ N-MORB И E-MORB**

ГЛАВНЫЕ, мас. %	N-MORB	E-MORB
SiO <sub>2</sub>	50.4	49.2
TiO <sub>2</sub>	1.36	2.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.2	12.8
FeO	9.31	11.4
MnO	0.18	0.17
MgO	8.96	10.0
CaO	11.4	10.8
Na <sub>2</sub> O	2.3	2.12
K <sub>2</sub> O	0.09	0.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.25

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ, ppm	N-MORB	E-MORB
Rb	0.56	5.04
Ba	6.3	57
Th	0.12	0.6
Nb	2.33	8.3
La	2.5	6.3
Ce	7.5	15
Sr	90	155
Y	28	22
Yb	3.05	3.37
Lu	0.46	0.35

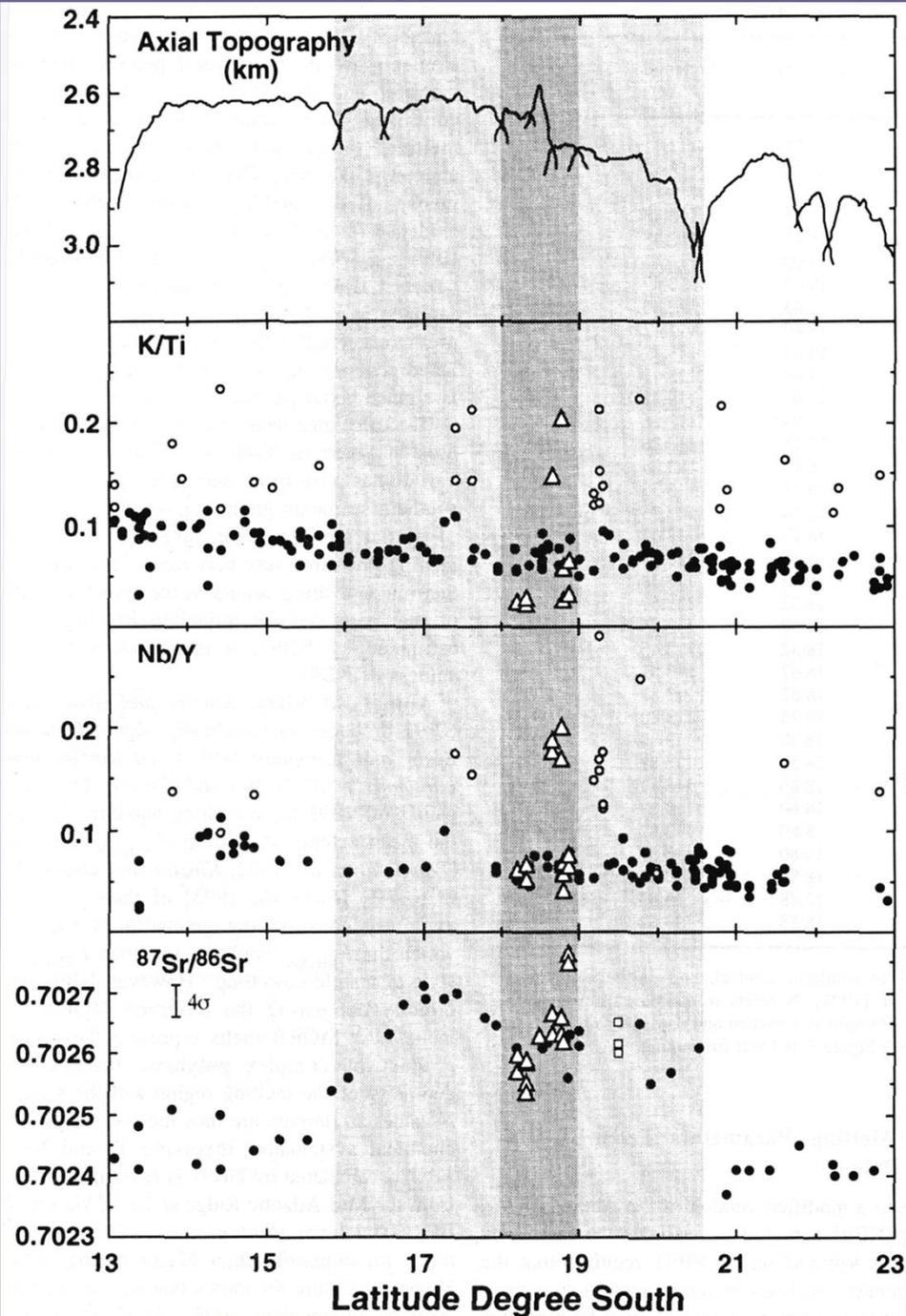
## Связь E-MORB с глубиной рифтовой долины

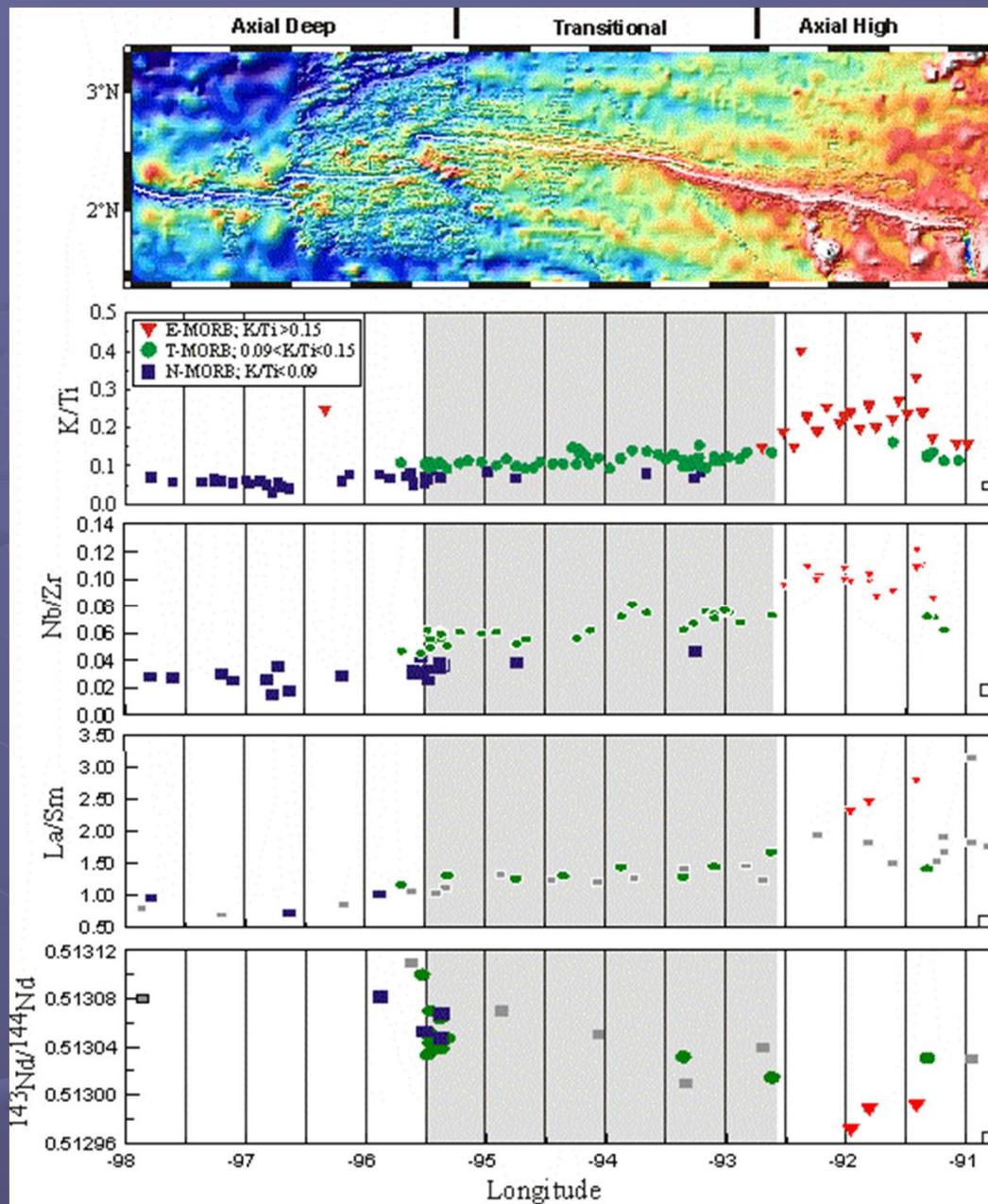
Лавы с высокими  $K/Ti$  и  $Nb/Y$   
встречаются повсеместно  
вдоль ВТП

Корреляция между отношениями  
несовместимых элементов и  
изотопными отношениями  
отсутствует.

(T-) и E- MORB вне аномальных зон  
скорее отражают степень  
плавления мантии, чем характер  
источника.

Южная часть ВТП  
из Niu et al., 1996





Количество E-MORB увеличивается по направлению к поднятиям.

В данном случае, геохимические отношения коррелируют с изотопными и по-видимому отражают влияние другого источника магмы.

Galápagos Spreading Center  
Данные John Sinton, Hawaii

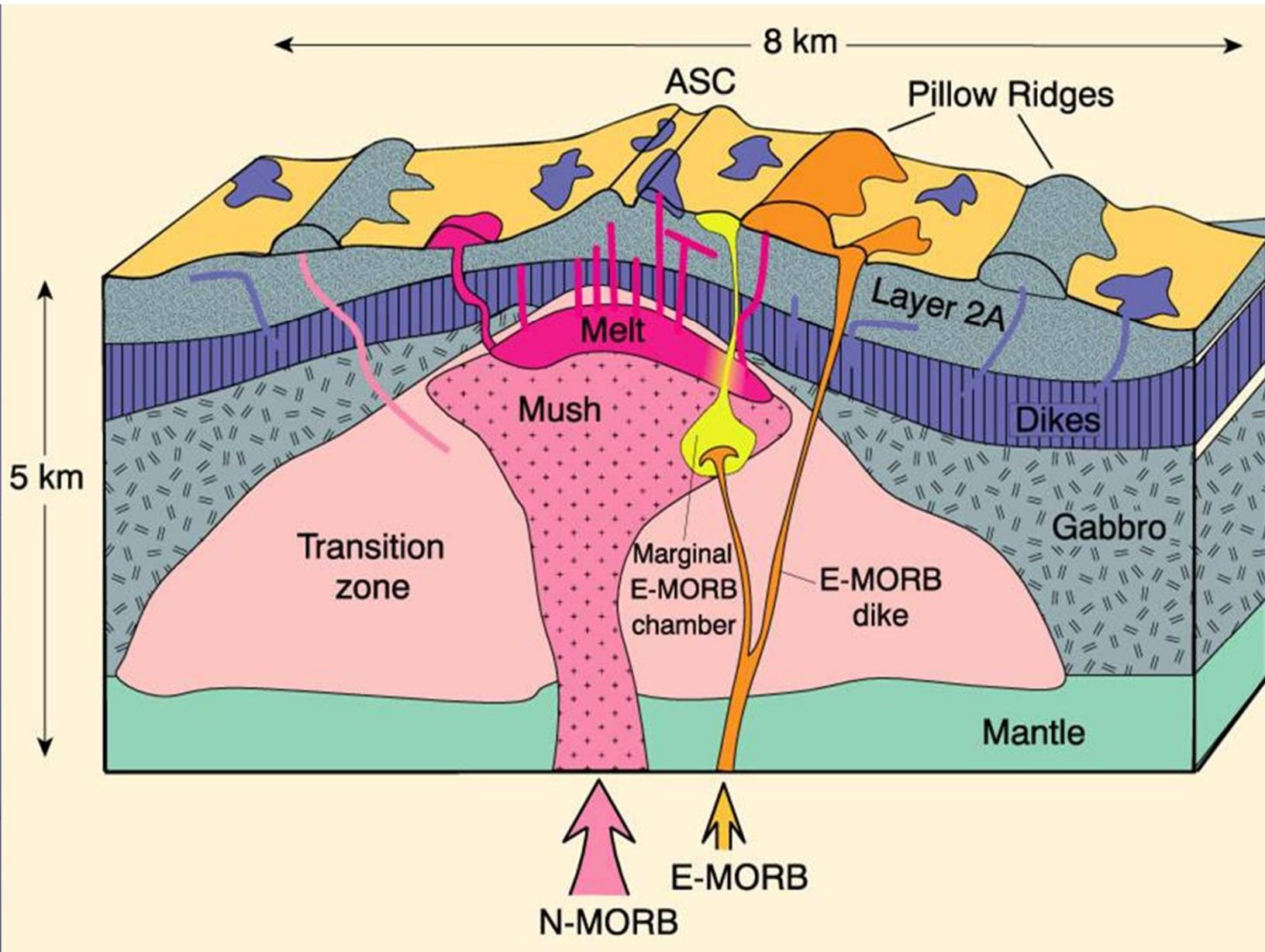


Схема магматического очага под быстрыми спреидинговыми зонами по Perfit et al., 1994.