

# Лекция 7.

**Вторичные преобразования пород океанической коры (гальмиролиз, метасоматоз, гидротермальные процессы, региональный метаморфизм). Рудообразование в СОХ.**



## Вторичные изменения вулканических пород СОХ:

- гальмиролиз
- локальные гидротермальные-метасоматические
- региональные метаморфические
- Гальмиролиз (от греч. Halmyros — солёный и lysis — распад), подводное выветривание, химико-минералогическое преобразование вулканических пород или первичного осадка на дне моря под влиянием процессов растворения, окисления и др. Гальмиролизом объясняют происхождение некоторых минералов, возникающих только в морских осадках (глауконит, шамозит и др.), подводное изменение вулканических туфов, ведущее к образованию бентонита и др. разновидностей поглощающих глин. Скорость процессов гальмиролиза определяется характером присутствующих в морской воде солей и газов, а также быстротой накопления осадков. Особенно благоприятны для процессов гальмиролиза места медленного накопления осадков







- При реакциях с морской водой стекло и минералы базальтов замещаются глинистыми минералами, такими как селадонит и нонтронит. Также по породам развиваются железистые гидрослюды, смектиты и гидрооксиды. В процессе изменения породы обогащаются за счет морской воды Li, K, Rb, Cs, V и U. Может отлагаться карбонат. Изотопные метки повышаются в базальтах у Sr и O, понижаются у V и Li.



## Вторичные минералы в магматических породах океана

### • Гидрослюды

Гидромусковит,  $K_{<1}Al_2(Si,Al)_4O_{10} [OH]_2 \cdot nH_2O$

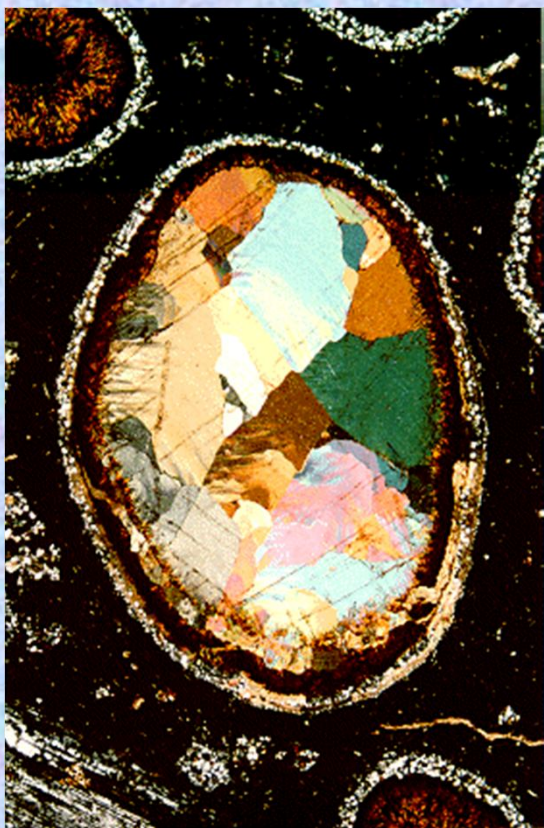
Вермикулит,  $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})[(Si, Al)_4O_{10}] [OH]_2 \cdot H_2O$

Глауконит,  $K_{<1}(Fe^{3+}, Fe^{2+}, Al, Mg)_{2-3}[Si_3(Si, Al)O_{10}] [OH]_2 \cdot nH_2O$

Селадонит,  $(K, Ca, Na)_{<1}(Al, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mg)_2 [(OH)_2Al_{0.11}Si_{3.89}O_{10}]$

### • Гидроокислы

- Гетит –  $Fe(OH)_3$



### Карбонаты

Кальцит  $CaCO_3$

Доломит  $CaMg[CO_3]_2$

Сидерит  $FeCO_3$

Анкерит  $CaFe[CO_3]_2$

### Группа кремнезема

халцедон

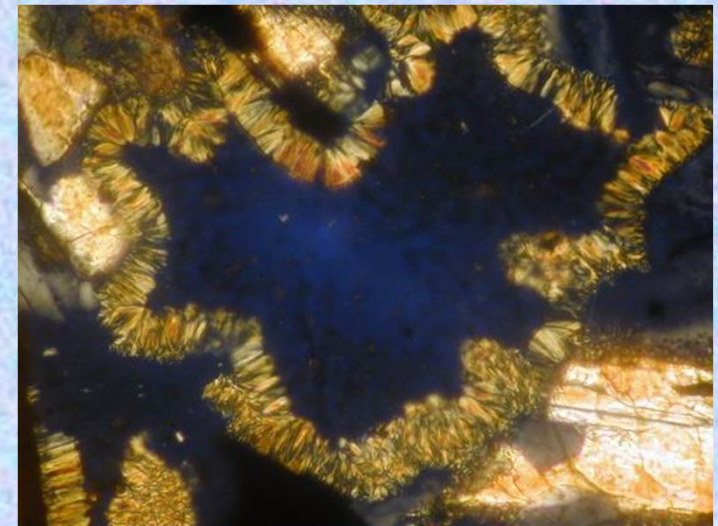
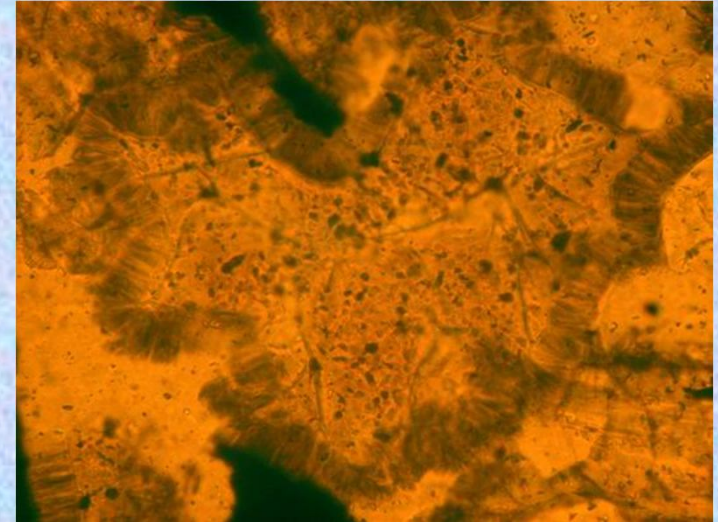
кварц

Заполнение вторичными минералами миндалины в базальтах. Концентрические круги халцедона, гетита, селадонита и карбонатных минералов.



## Вторичные минералы

**Палагонит** (Большая советская энциклопедия)  
Палагонит, стекловатое минеральное вещество жёлто-бурого, буровато-зелёного или темно-бурого цвета, богатое водой, иногда частично раскристаллизованное; встречается в базальтах, диабазе и их туфах.



Палагонит в окружении селадонита

### **Смектиты (группа монтмориллонита)**

смектитсодержащие глины существенно изменяют объем при увлажнении и высыхании

Бентониты - глины, содержащие большое количество смектитов

Бейделит - глиноземистый минерал

Нонтронит - минерал, обогащенный  $Fe^{3+}$

Сапонит - обогащен  $Mg^{2+}$  и часть Si замещается Al

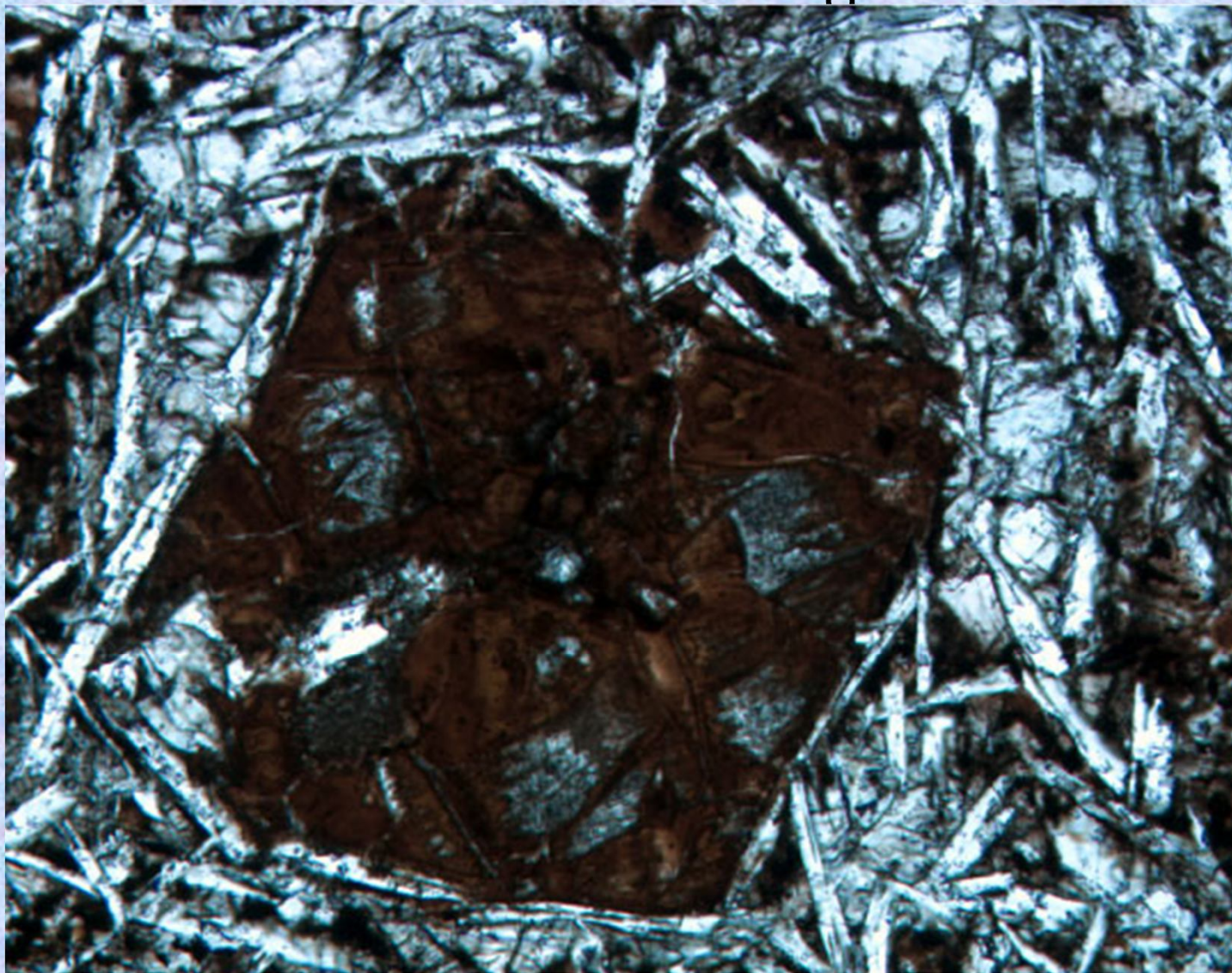
Гекторит - литиевый смектит

### **Хлориты**

### **Цеолиты**

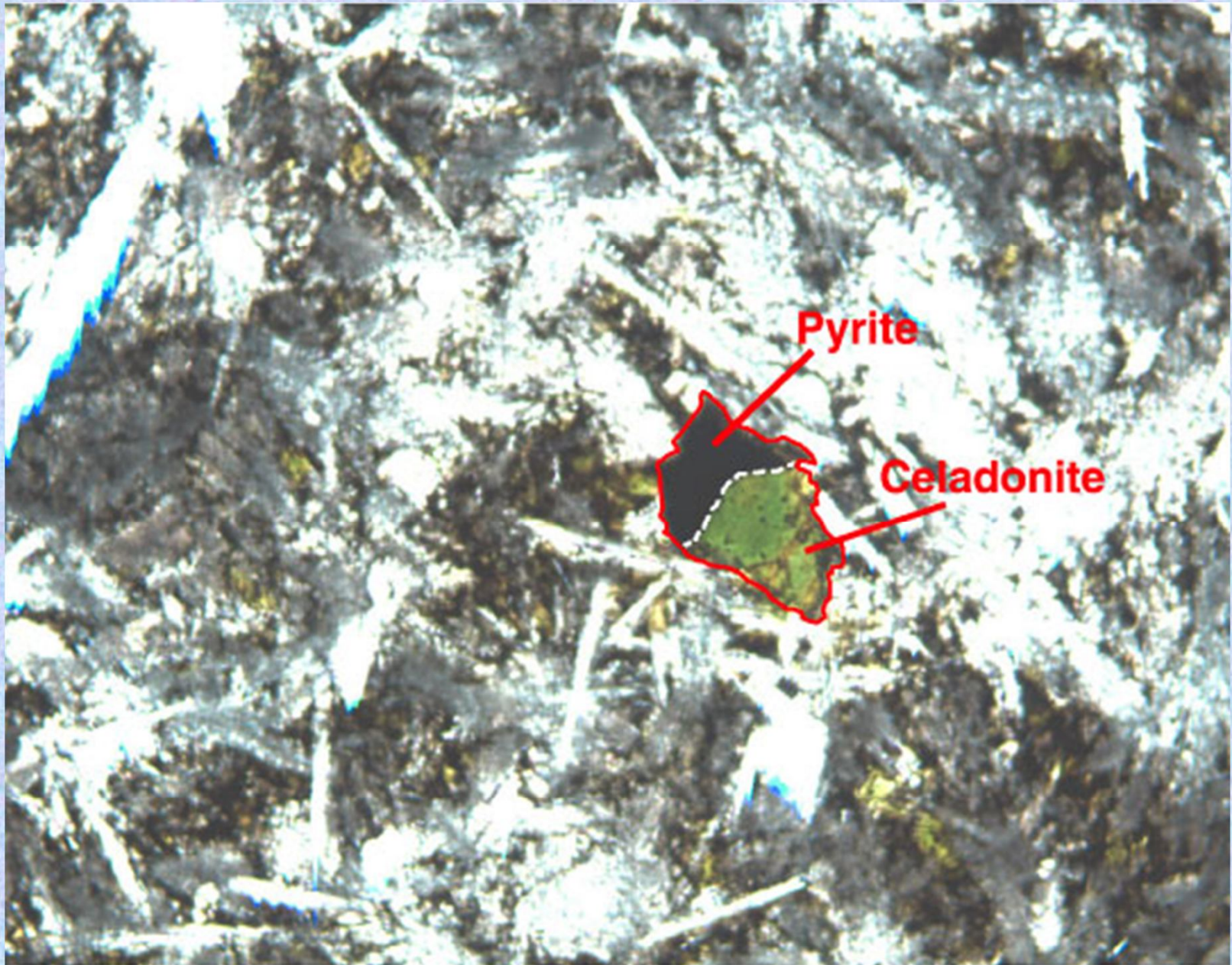


**ФОТОГРАФИИ ШЛИФОВ с ВТОРИЧНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ  
ОКЕАНИЧЕСКИХ ПОРОД**



Псевдоморфозы кальцита и сапонита по оливину, без поляризатора





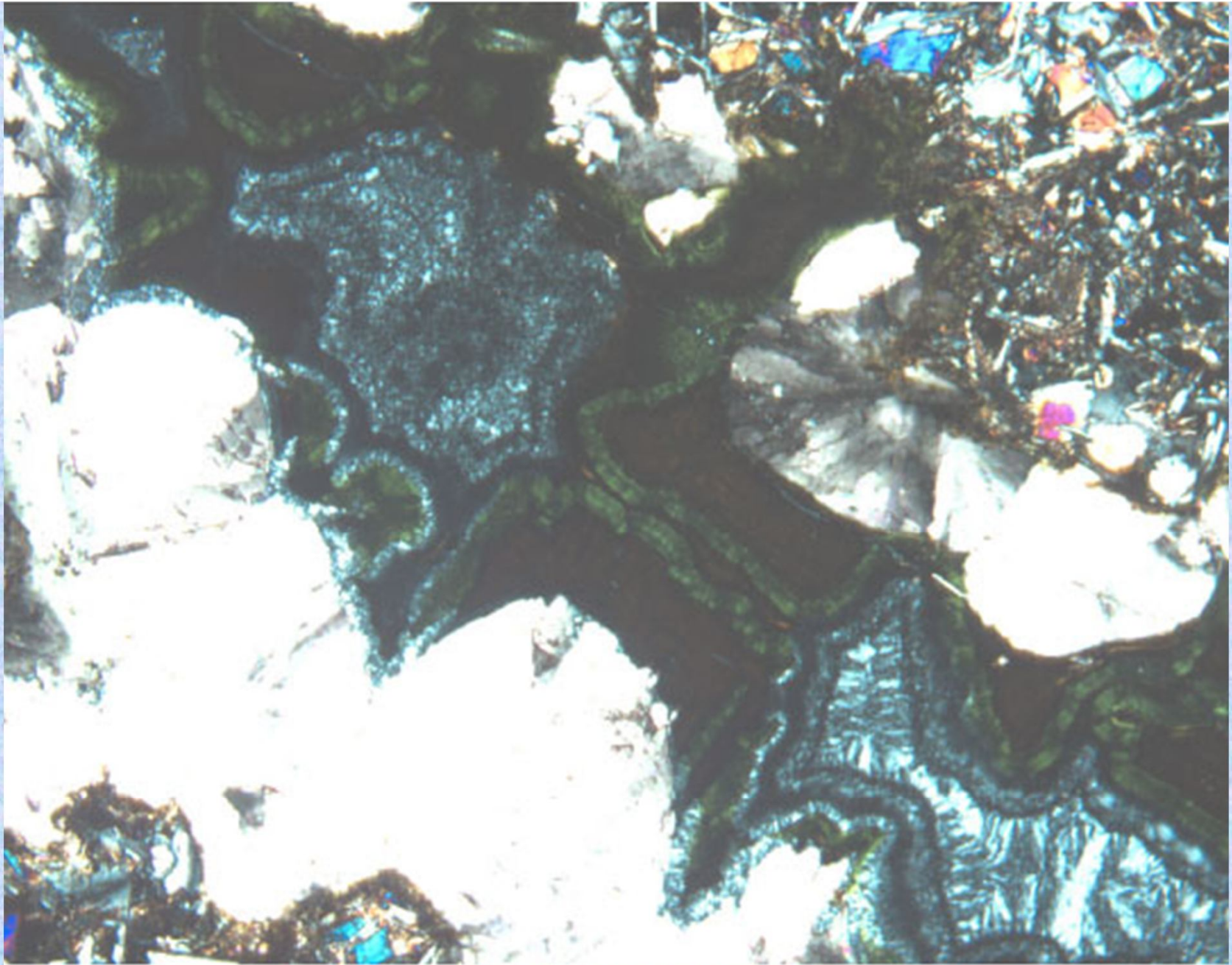
Псевдоморфозы пирита и селадонита по оливину





1-2 мм прожилок кальцита с постепенным заполнением гетитом и халцедоном





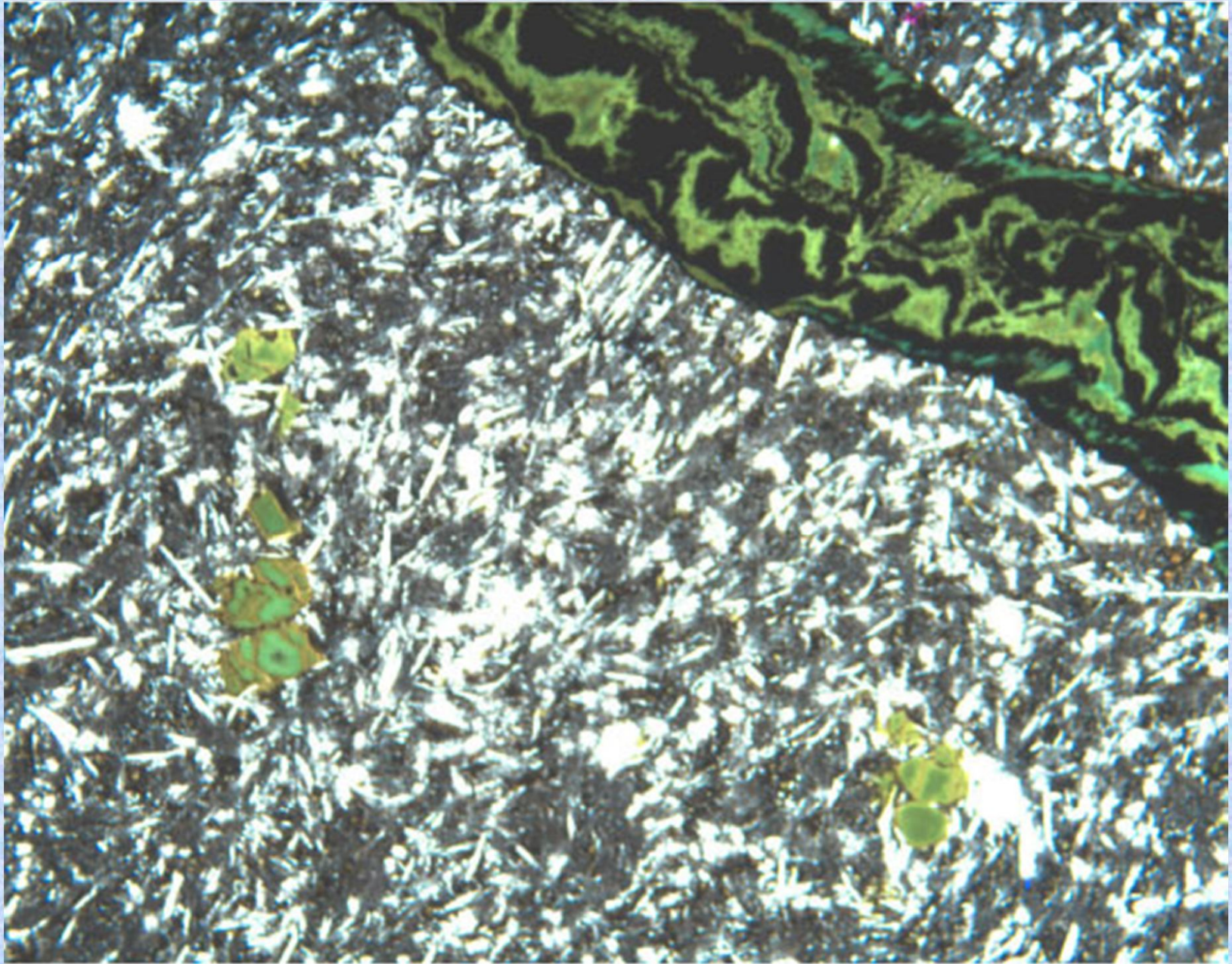
1 -2 мм прожилок кальцита с постепенным заполнением гетитом, селадонитом и халцедоном, скрещенные николи





Селадонит-кальцитовый прожилок с коричневым обрамлением (сапонит и гидроокислы железа),

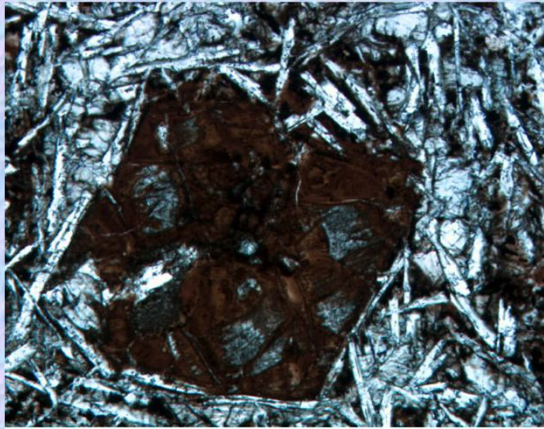




Хорошо оформленные псевдоморфозы нонтронита по оливину в серых пиллоу-базальтах. Размер поля зрения 5.5 мм.



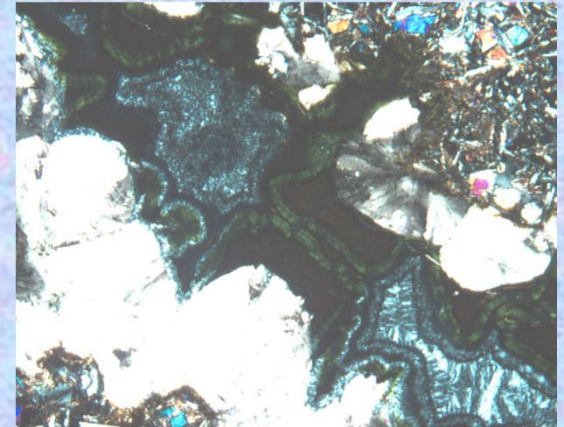
## Фотографии шлифов с вторичными минералами



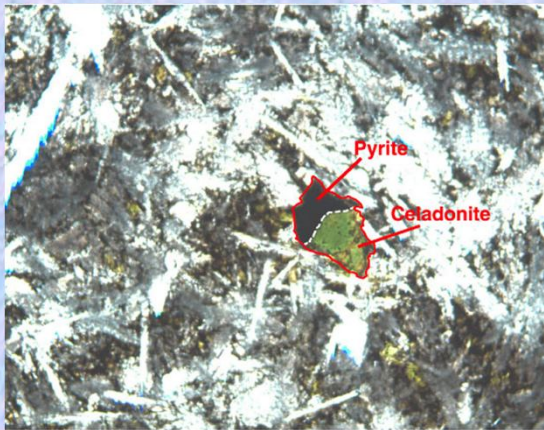
Псевдоморфозы кальцита и сапонита по оливину



1-2 мм прожилок кальцита с постепенным заполнением гетитом и халцедоном



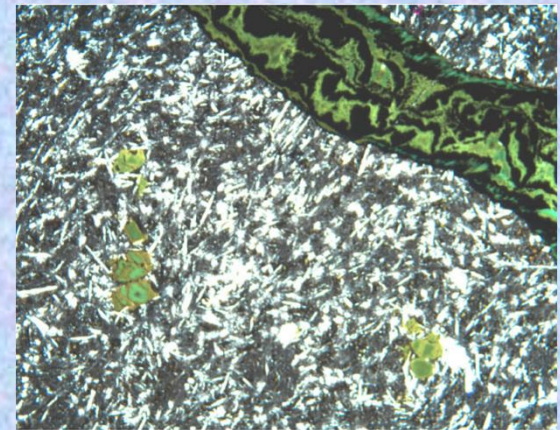
1 -2 мм прожилок кальцита с постепенным заполнением гетитом, селадонитом и халцедоном



Псевдоморфозы по оливину



Селадонит-кальцитовый прожилок с коричневым обрамлением (сметтит и гидроокислы железа),



Хорошо оформленные псевдоморфозы нонтронита по оливину в серых пиллоу-базальтах. Размер поля зрения 5.5 мм.





Свежие подушечные лавы, Южная часть Тихого океана



Измененные породы с коркой гидроокислов железа и марганца



## Гидротермальная система СОХ



Одно из открытий последних десятилетий являются системы гидротермальных жил ("черных курильщиков", "белых курильщиков") в срединно-океанических хребтах, существующих при температурах около 350 градусов и поддерживающих колонии организмов на глубинах более 2.5 км. Колоний животных были открыты при погружении на глубоководном аппарате Alvin в феврале-марте 1977 в районе Галапагосских островов.



## ФОТОГРАФИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПОСТРОЕК

Гидротермальные постройки являются готовыми месторождениями с массивными сульфидными рудами



Глубина 3600 м



Глубина 1400 м



Глубина 700 м



Глубина 3250 м

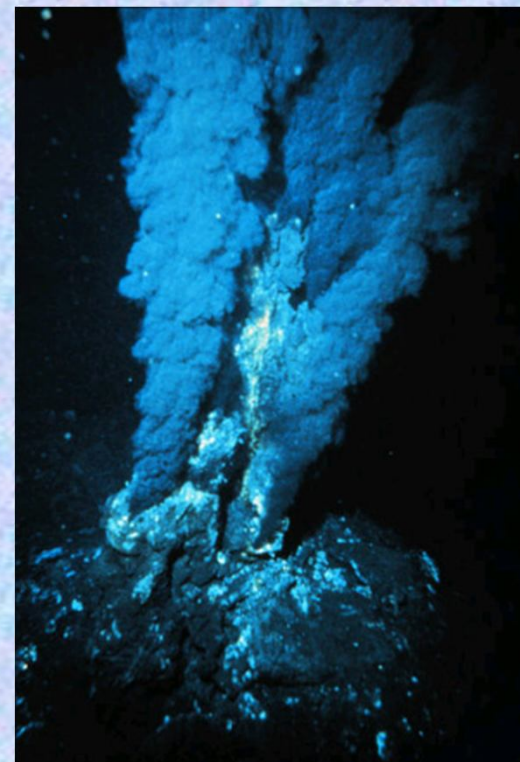


## Вестиментиферы, жизнь на глубине



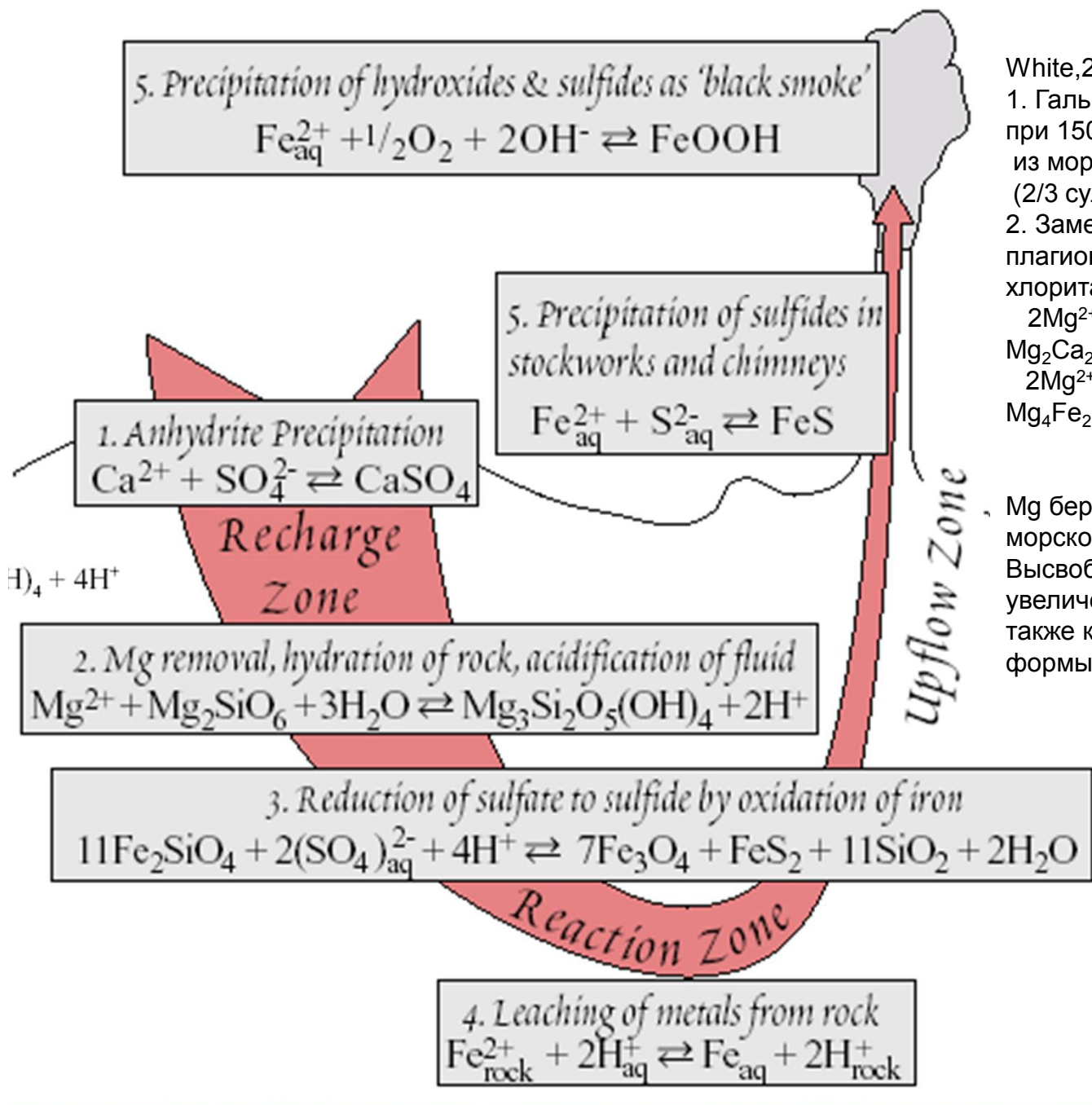


## Рудные постройки



Принципиальная схема "черного курильщика"

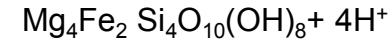
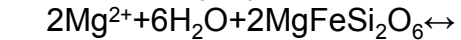
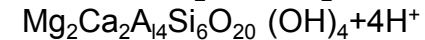




White, 2001 по Alt, 1995.

1. Гальмиролиз при 150 - 200 выпадает ангидрит, при этом из морской воды осаждается весь Ca (2/3 сульфатной серы).

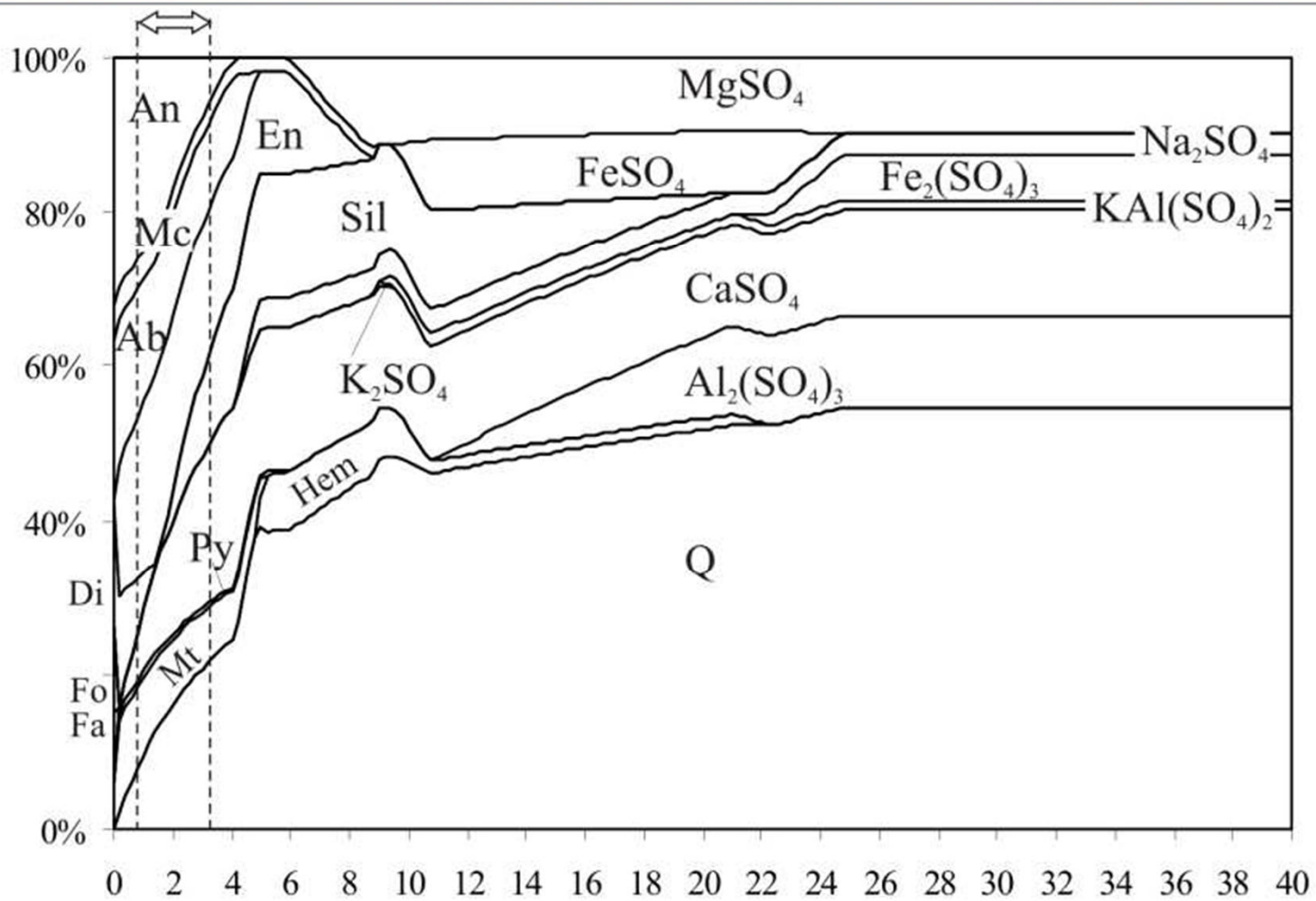
2. Замещение вулканического стекла, плагиоклаза и пироксенов с образованием хлорита и глинистых минералов:



Mg берется из фильтрующейся в этой зоне морской воды  
 Высвобождающийся  $\text{H}^+$  приводит к резкому увеличению кислотности растворов, а также к переходу серы из сульфатной формы в сульфидную.



Содержание минеральной фазы, мол. %



В

Количество добавленного SO<sub>2</sub>, моль

Моделирование фазовых равновесий при взаимодействии SO<sub>2</sub> с базальтом [Ли, 2011]



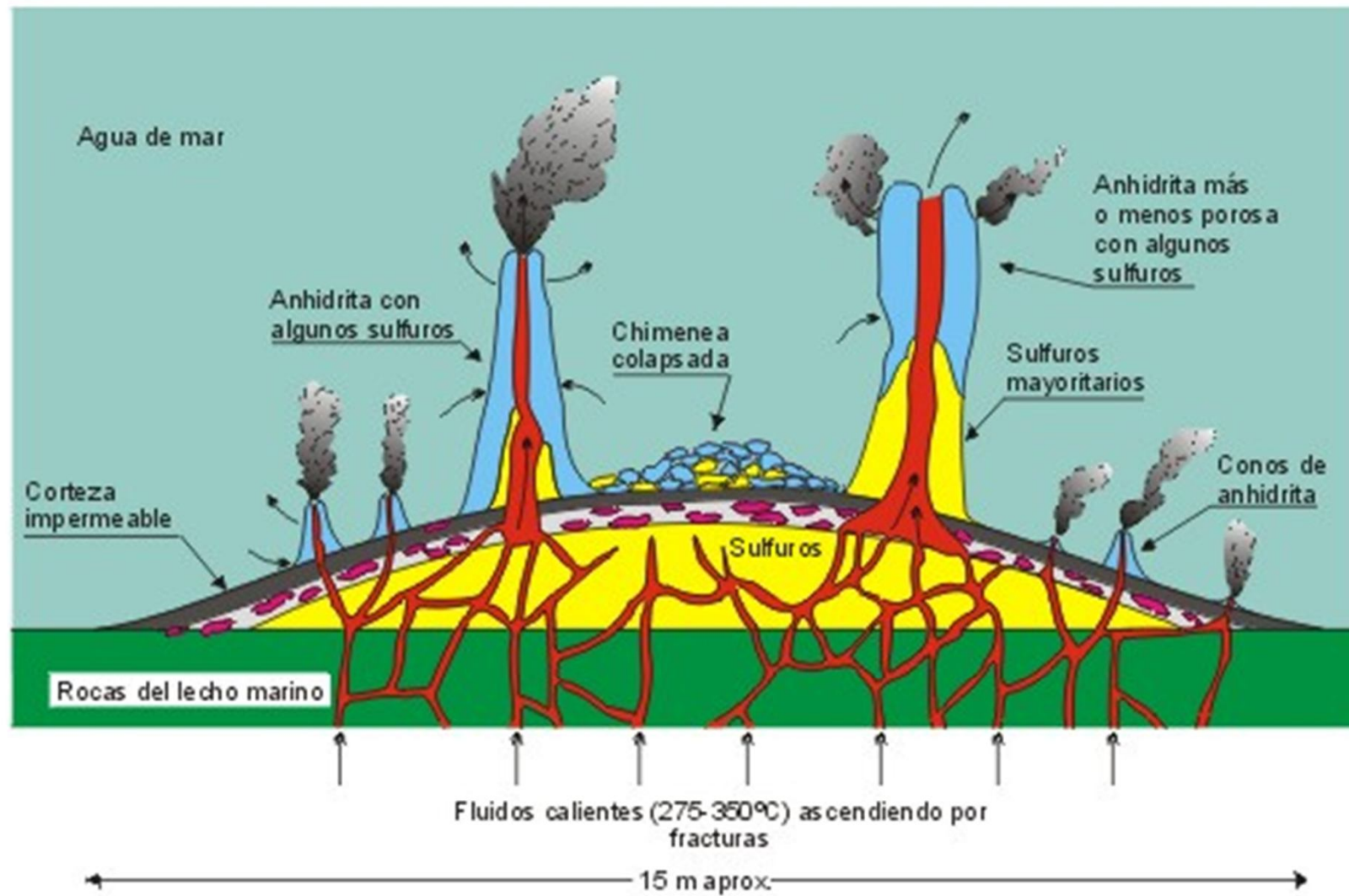
	21°N (EPR)	Escanaba (Gorda)	South Cleft Plume	Axial Volcano Virgin Mound	TAG MAR	Seawater
T °C	273-355	108-217	224	299	335-350	—
pH	3.3-3.8	5.4	3.2	4.4	3.7-3.9	8.2
Li $\mu\text{mol/kg}$	891-1322	1286	1718	184	845	25.6
$\delta^6\text{Li}$	-6.6 to -10				-6.3 to -8.5	-32.3
Be nmol/kg	10-13		95		38.3	0.025
B $\mu\text{mol/kg}$	500-548	1.71-2.16	496	450	518-530	406
$\delta^{11}\text{B}$	30.0-32.7	10.1-11.5	34.2		25.6-26.8	+39.5
CO <sub>2</sub> mmol/kg	5.7		3.7-4.5	285		
CH <sub>4</sub> mmol/kg	0.06-0.09		.082-.09			—
NH <sub>4</sub> mmol/kg	<.01	5.6				—
Na mmol/kg	432-513	560	796	148	510	468
Al $\mu\text{mol/kg}$	4.0-5.2				5.0-5.3	0-0.15
Si mmol/kg	15.6-19.5	5.6-6.9	23.3	13.5	18.3	0-0.25
H <sub>2</sub> S mmol/kg	6.6-8.4	1.1-1.5	3.5	18	5.9	26.9*
$\delta^{34}\text{S}$	+1.4-3.4	+7.8	+5.7	+7.3		+21
Cl mmol/kg	489-579	668	1087	176	559	532
K mmol/kg	32.5-49.2	34-40.4	51.6	6.98	23.8	9.96
Ca mmol/kg	11.7-20.8	33.4	96.4	10.2	9.9-10.5	10.3
Mn mmol/kg	.67-1.0	0.01-0.21	3.59	142	659	<0.04
Fe mmol/kg	.75-2.43	0-0.1	18.7	12	1	<0.006
Co nmol/kg			200			<0.07
Cu $\mu\text{mol/kg}$			1.5	0.4	1.64	<0.004
Zn $\mu\text{mol/kg}$			780	2.2		<0.009
Ge nmol/kg	130-170		150-260			0-0.2
As nmol/kg	30-452					13-27
Se nmol/kg	<0.6-72		<1			0.5-1.5
Br $\mu\text{mol/kg}$	802-929	1179	1832	250	847	839
Rb $\mu\text{mol/kg}$	27-33	80-105	37		10.7	1.45
Sr $\mu\text{mol/kg}$	65-97	209	312	46	51	87
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	.7030-.7033	0.7099			0.7028	0.70918
Mo nmol/kg			6			115
Ag nmol/kg			120			<0.03
Cd nmol/kg			910			0-1.0
Sb nmol/kg			18			0.7-1.3
I $\mu\text{mol/kg}$		99				0.2-0.5
Cs nmol/kg	202	6.0-7.7			179	2.25
Ba $\mu\text{mol/kg}$	8-16					0.085
Tl nmol/kg			110			<0.08
Pb nmol/kg			1630			<0.002

Состав температура  
флюида различных  
гидротермальных полей



Схема, демонстрирующая упрощенную модель образования колчеданных руд и взаимоотношения черных и белых курильщиков.

Un manual on-line de Recursos Minerales, realizado por [Pablo Higuera Higuera](#) (Universidad de Castilla-La Mancha), y [Roberto Oyarzun Muñoz](#) (Universidad Complutense de Madrid)





## **Рудообразование.**

металлоносные осадки – самые низкотемпературные при 150-200 С и давлениях 500 бар. При взаимодействии с базальтами в воде увеличивается содержание Fe и Mn в 2000 раз. Если оценить вынос вещества из базальтов за счет выщелачивания , то

Fe	117.5	млн.т. в год
Mn	4.85	млн.т. в год
Ni	0.9	млн.т. в год
Zn	0.47	млн.т. в год
Cu	0.29	млн.т. в год
Co	0.16	млн.т. в год

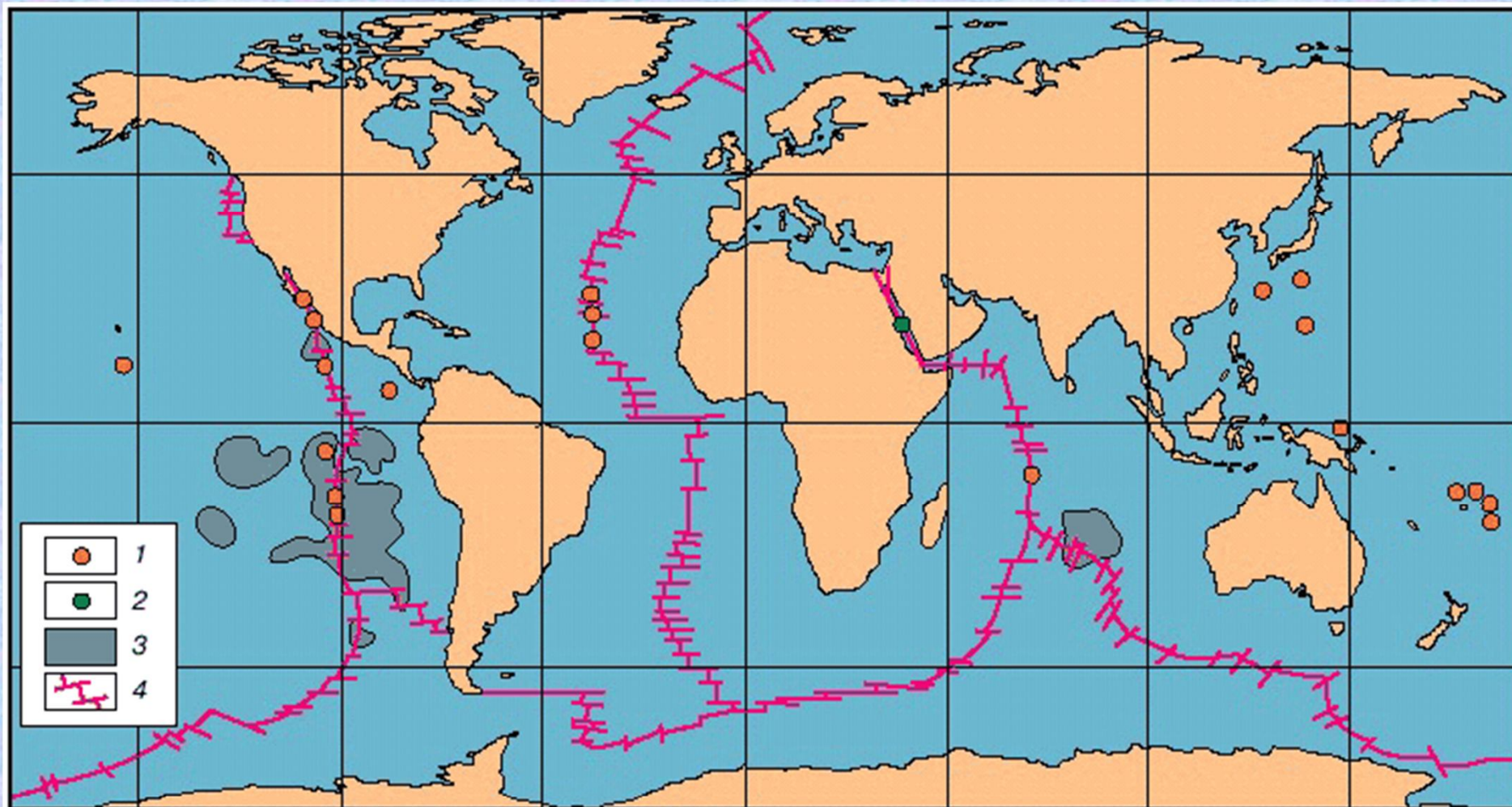
**Это больше, чем снос в растворенном виде с континентов  
Ежегодно образуется дополнительно 9 км<sup>3</sup> базальтов**



## Чуть статистики ...

- Гидротермальные поля образуются в рифтах, трансформных разломах и на их пересечении.
- Рудные столбы обычно высотой 20-50 м с диаметром жерла 10-30 м.
- Время жизни 20-30 лет
- Максимальная температура 300-400 градусов
- Взвесь до 300 мг/литр (Cu 8-9, Zn 3-5, Fe 20-30)
- Среднее гидротермальное поле дает примерно 90 тонн меди и цинка в год





Распространение современных гидротермальных построек и металлоносных осадков в океанах: 1- гидротермальные постройки и сульфидные руды; 2 – илы с сульфидами (страйформные залежи); 3 – металлоносные осадки; 4 – рифтовые зоны.