Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Геологический факультет

Доклад по результатам исследовательского проекта

Газовый метасоматоз в современных окислительных фумарольных системах

Н.Н. Кошлякова, М.О. Булах

Проект выполнен при поддержке гранта молодых учёных
Геологического факультета МГУ
«Достижения молодых учёных-геологов»

Цели и задачи проекта

Цель проекта: охарактеризовать продукты газового метасоматоза и возгоны в окислительных фумаролах с «рудной» (Zn, Pb, Cu, Sn, Ag, As, Sb, W, Mo и др.) специализацией.

Исследование проведено на примере фумаролы Арсенатной – наиболее богато минерализированного объекта такого типа в мире.

Задачи проекта:

(1) охарактеризовать изменения минералов базальта в высокотемпературных окислительных условиях

(2) отследить связь метасоматических изменений в базальтовом шлаке с составом эксгаляционной минерализации, образующейся на этом шлаке в различных температурных зонах фумаролы

Методы исследования

- **Оптическая микроскопия**
- **Сканирующая электронная микроскопия и электронно-зондовый анализ**: электронные микроскопы JEOL JSM-6480LV и Superprobe JXA-8230, оснащенные энергодисперсионными и волновыми спектрометрами
- **Рамановская (КРС) спектроскопия** *(применялась для дополнительной диагностики некоторых фаз, в частности – полиморфных модификаций SiO_2)*

Результаты
и оценка эффективности работы:

- Выполнены все запланированные в проекте исследования
- Изучена коллекция из **110 образцов,** получено **более 300 электронно-зондовых анализов** и более **250 РЭМ изображений**, на основе которых **детально исследованы взаимоотношения минералов** и реконструированы процессы метасоматических изменений, дана минералогическая и петрографическая характеристика базальта, «газовых метасоматитов» и сопутствующих эксгаляционных инкрустаций
- **Выявлены главные типы** метасоматического изменения базальта
- Установлена **связь выявленных типов изменений с** химическим и минеральным **составом возгонов**

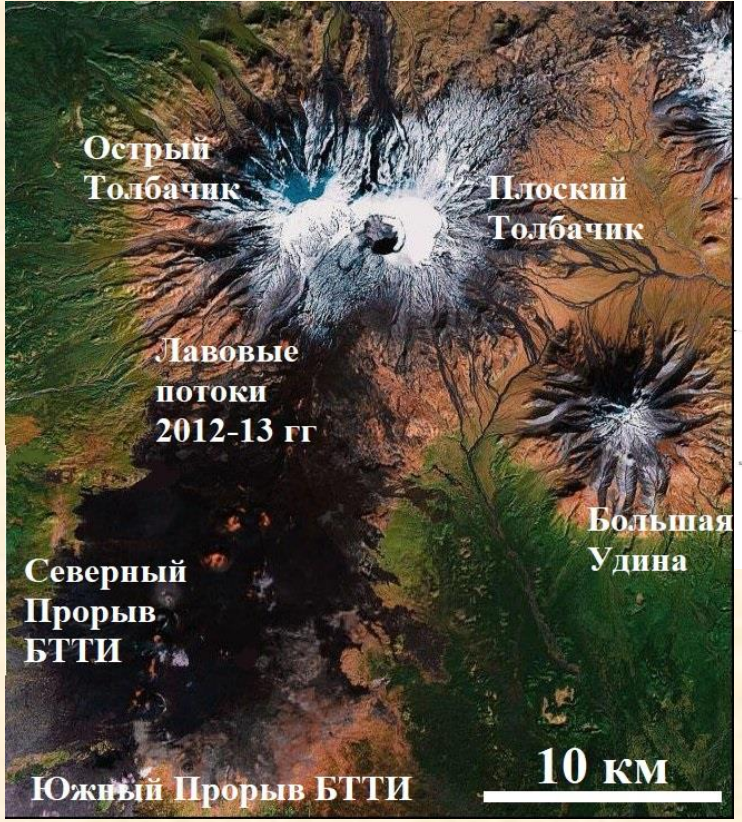
Практическая значимость

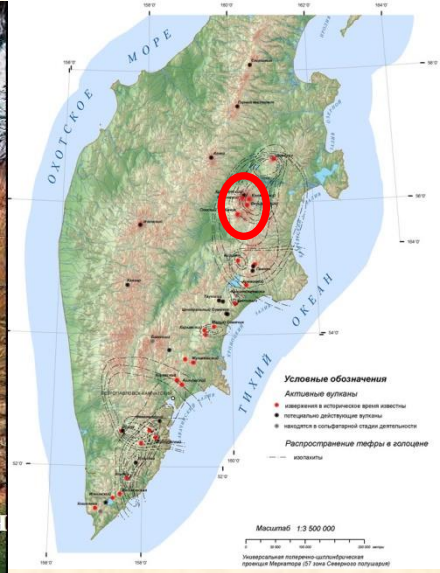
- Получены новые данные о **механизмах мобилизации и иммобилизации токсичных элементов – As, Pb, Cu, Zn, Tl** в поствулканических процессах

- **Фумарольные системы окислительного типа во многом являются аналогами типичных загрязнителей атмосферы в промышленных районах** – ТЭЦ на угле, горящих отвалов угледобывающих и металлургических предприятий. Эти системы близки по набору токсичных компонентов, способу их переноса, температурам и давлению, что позволяет применять полученные данные в экологическом аспекте

- Получены новые данные о геохимических процессах, ведущих к **концентрации в наземных эксгаляционных системах (вулканических возгонах) рудных компонентов**: Zn, Pb, Cu, Sn, As, Sb, Mo, W, Te

Исследования проводились на образцах из фумаролы Арсенатной, действующей на Втором шлаковом конусе Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-76 гг.

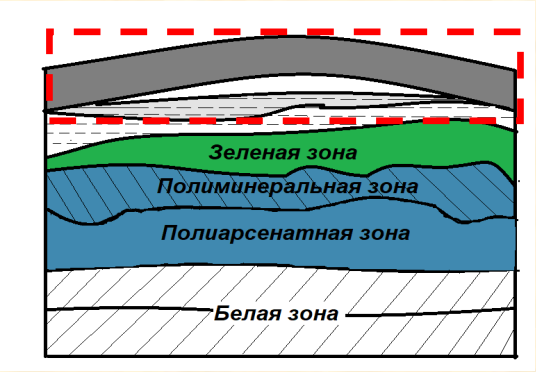




Спутниковый снимок района Толбачинских вулканов

Второй конус Северного прорыва БТТИ. Июль 2021 г.

Острый Толбачик и лавовый поток 2012 г.



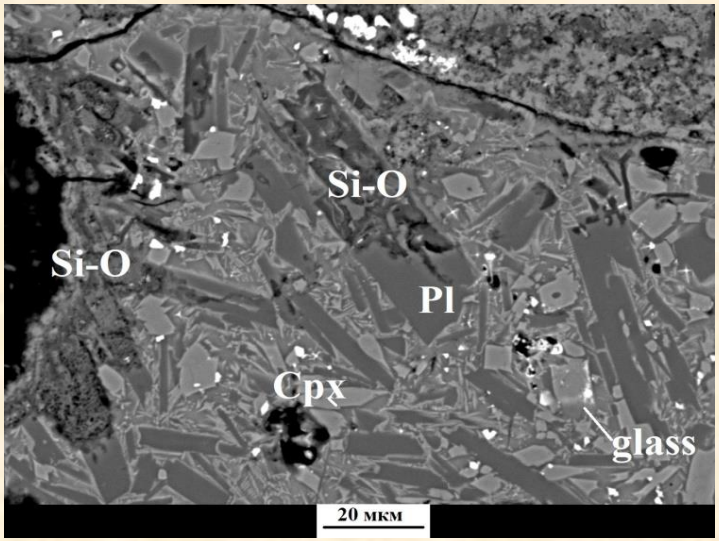
I тип

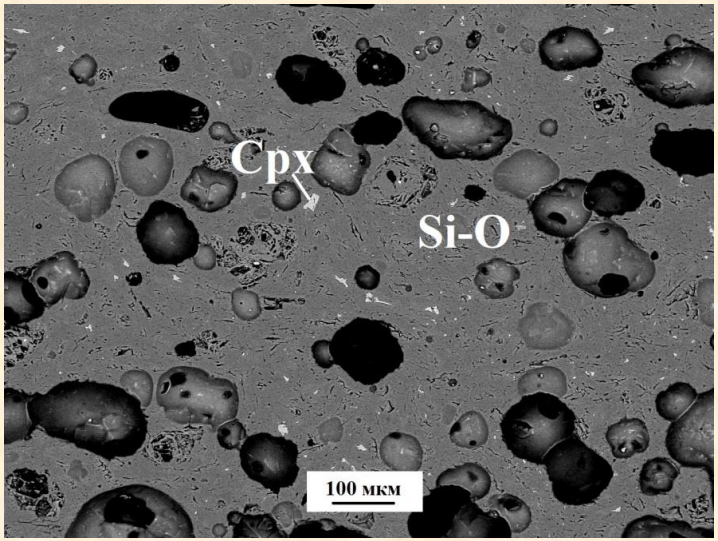
изменения основной массы базальта

Pl → glass → Cpx

<u>Лабрадор+диопсид-авгит+стекло → тридимит-опал</u>

Из породы выносятся все компоненты кроме SiO_2



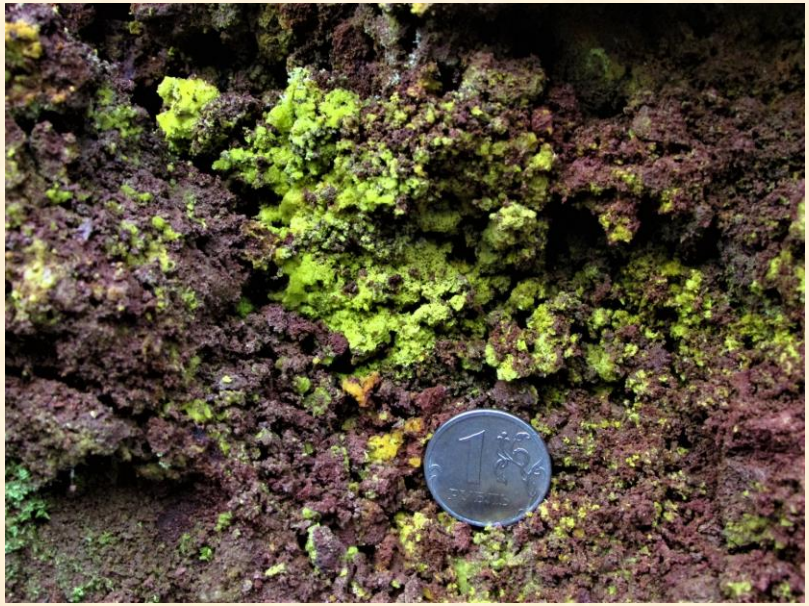


Замещение плагиоклаза фазой SiO_2 (слева) и опал с реликтами клинопироксена (справа). РЭМ-фото

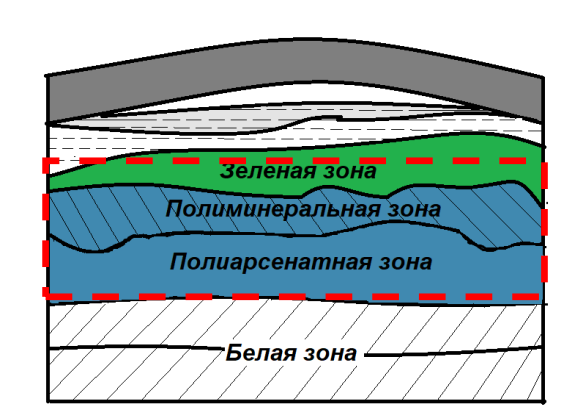
Инкрустации, связанные с I типом изменений

Видообразующие элементы:

- K, Na, Mg, Ca, Al, Ti
- Fe^{3+}, Mn, Cu, Zn
- S^{6+}
- F, Cl
- H^{+}

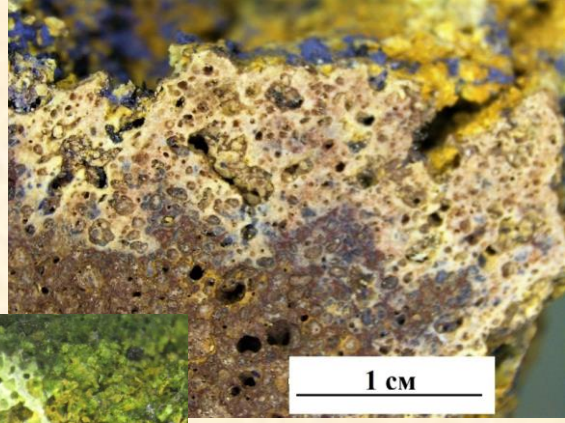


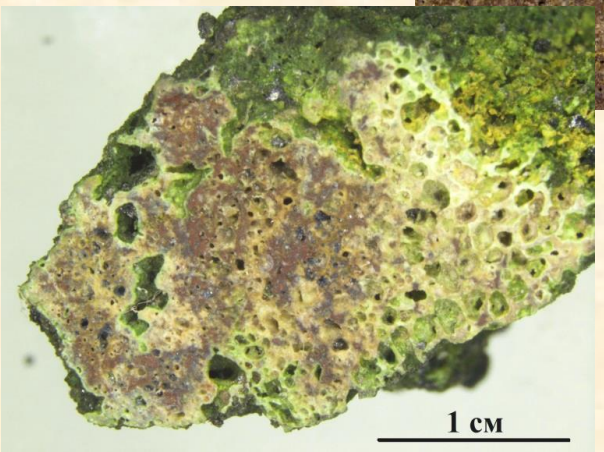
Корочки хлоридов железа (слева) и водных сульфатов меди и цинка (справа) на измененном базальте



II тип

изменения основной массы базальта

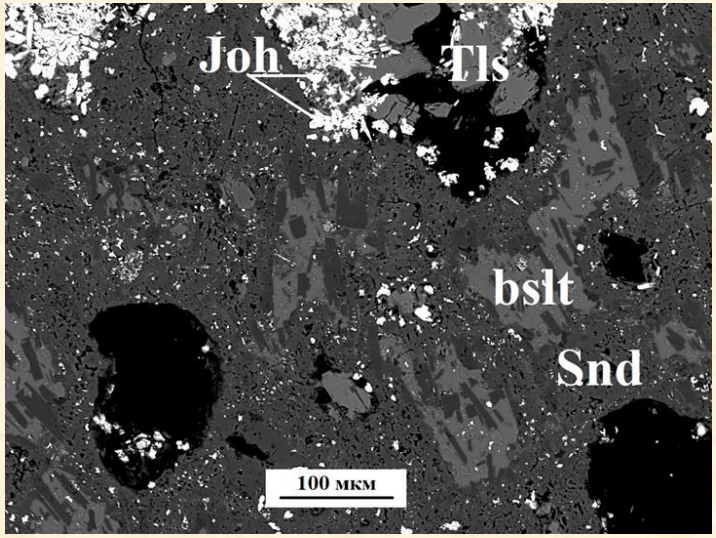


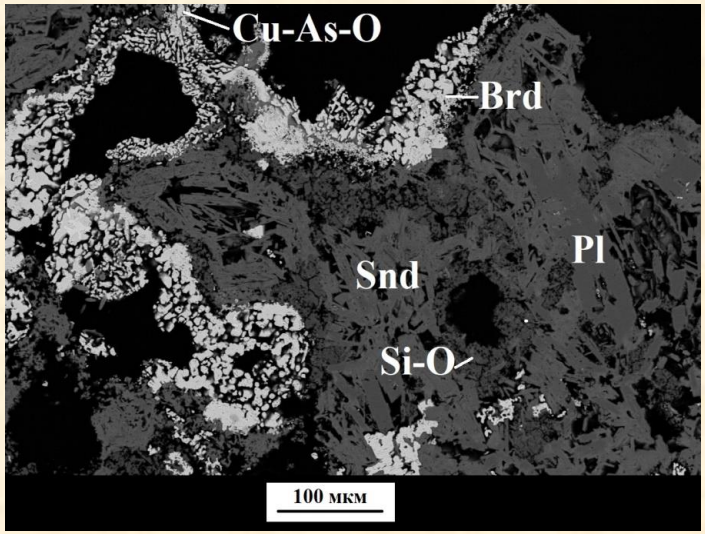


<u>Лабрадор+стекло → санидин</u>
(обогащенный As или Na)

<u>Диопсид-авгит→ кристобалит</u>

Cpx → glass → Pl



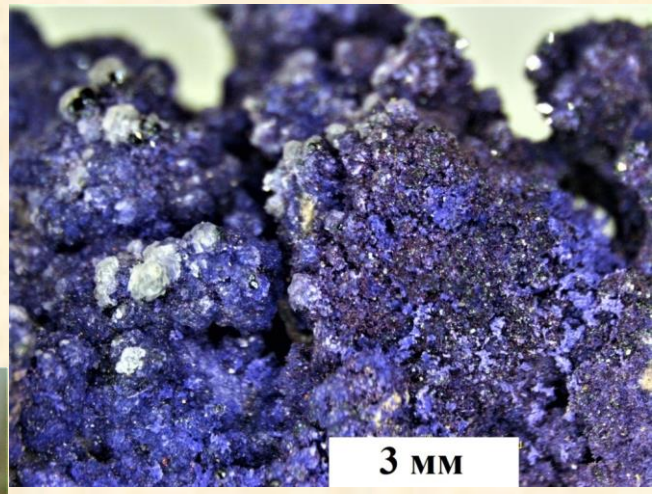


Апобазальтовый агрегат под инкрустациями арсенатов. РЭМ-фото

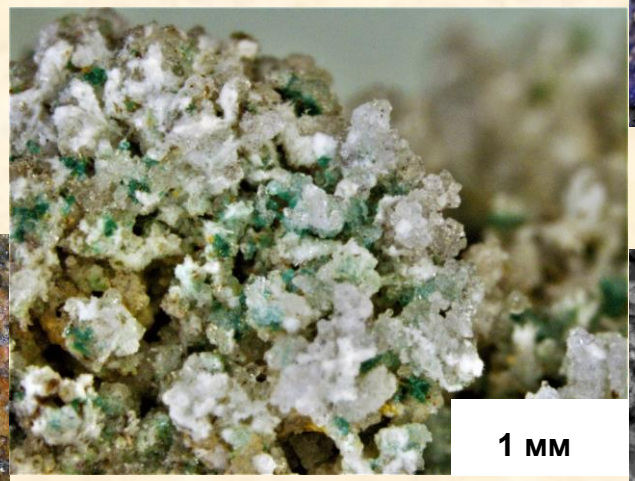
Инкрустации, связанные со II типом изменений

Видообразующие элементы:

- K, Na, Mg, Ca, Al, Ti
- Fe^{3+}, Cu, Zn, Au, Sn, Sb
- Si, S^{6+}, As^{5+}, B
- F, Cl

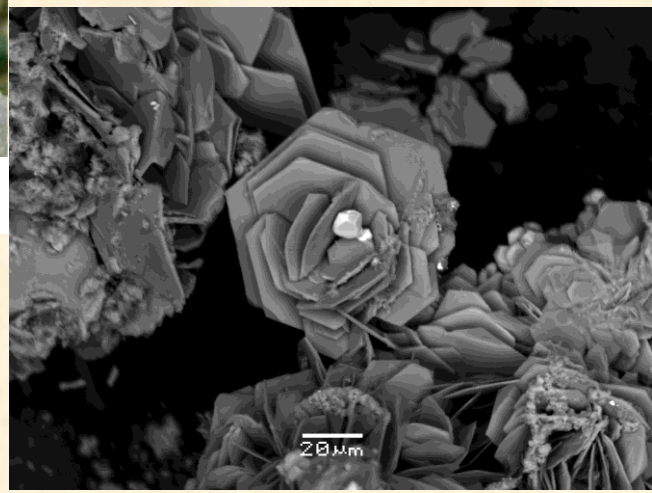


Афтиталит и йохиллерит

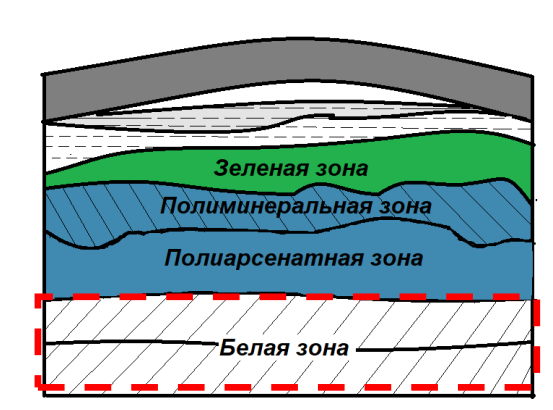


Лангбейнит и урусовит

Сферолиты касситерита



Агрегаты фторфлогопита (РЭМ-фото)



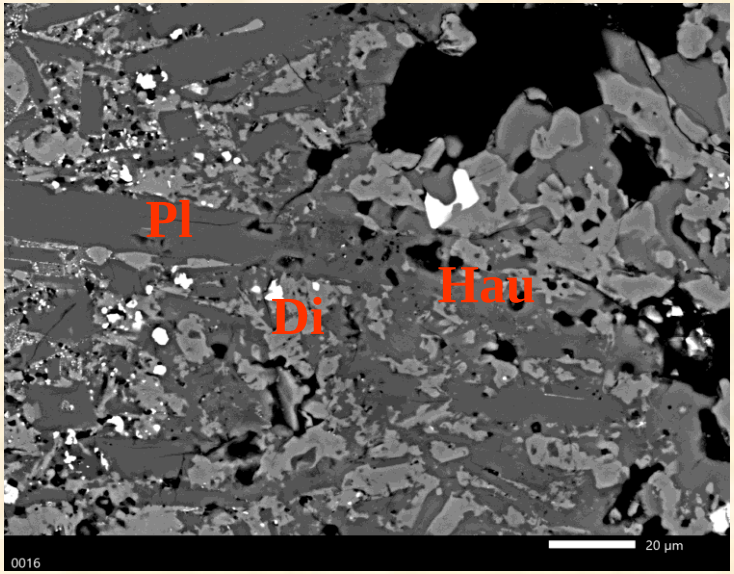
III тип

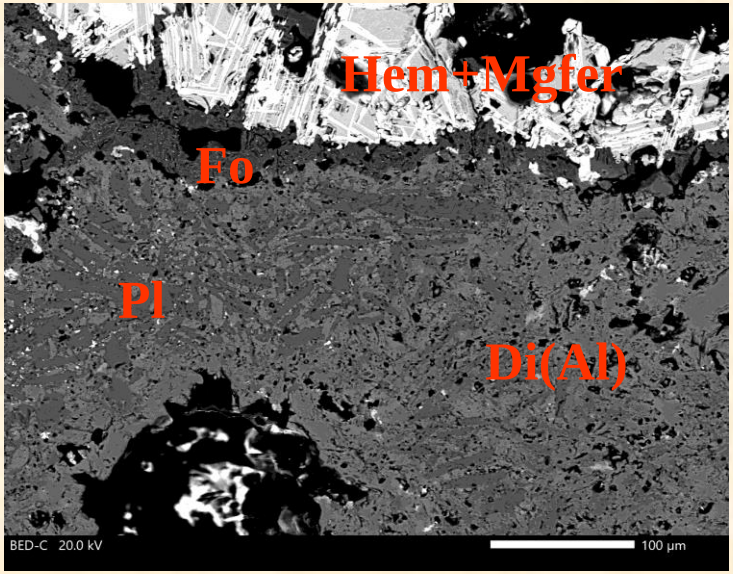
изменения основной массы базальта

glass → Pl → Cpx

<u>Лабрадор+диопсид-авгит→ диопсид-эссенеит</u>

<u>Лабрадор+диопсид-авгит→ диопсид + гаюин</u>



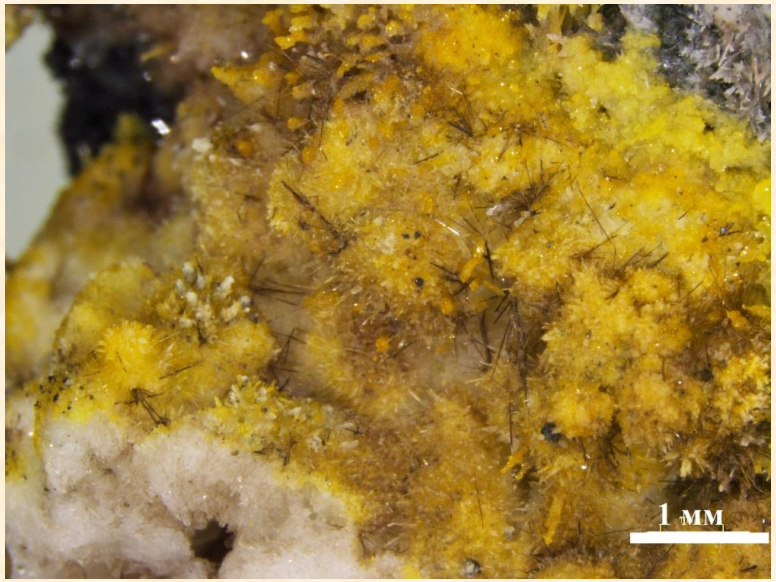


Агрегаты диопсида и гаюина (справа), глиноземистого диопсида (слева) с реликтами лабрадора. РЭМ-фото

Инкрустации, связанные с III типом изменений

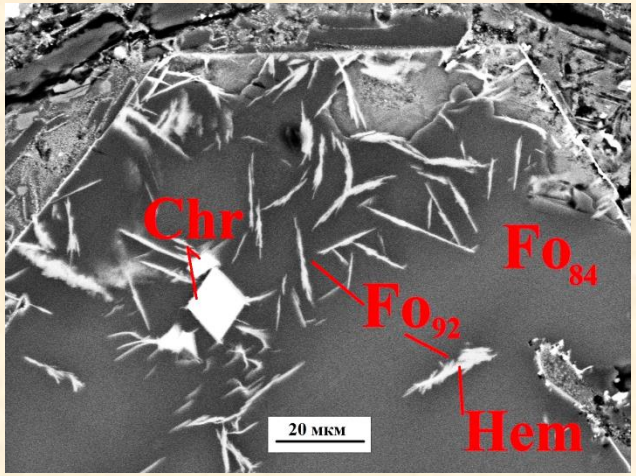
Видообразующие элементы:

- Na, Mg, Ca, Al, Ti
- Fe^{3+}
- Si, S^{6+}, V^{5+}, As^{5+}, P^{5+}, Mo^{6+}, W^{6+}, B
- F, Cl



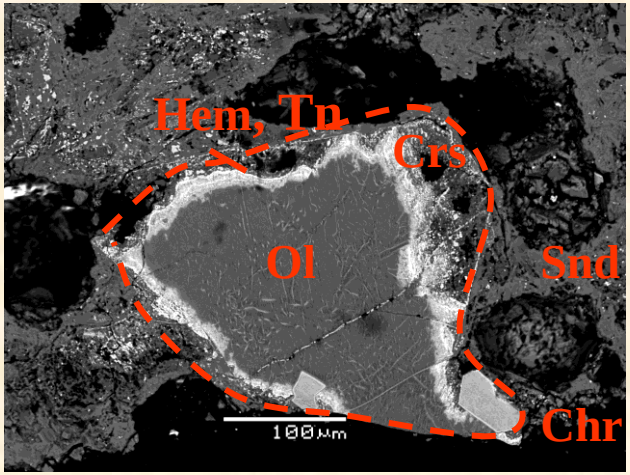
Инкрустации форстерита и магнезиоферрита (вверху), ангидрита, гематита, берцелиита и тилазита (внизу)

Изменение оливина

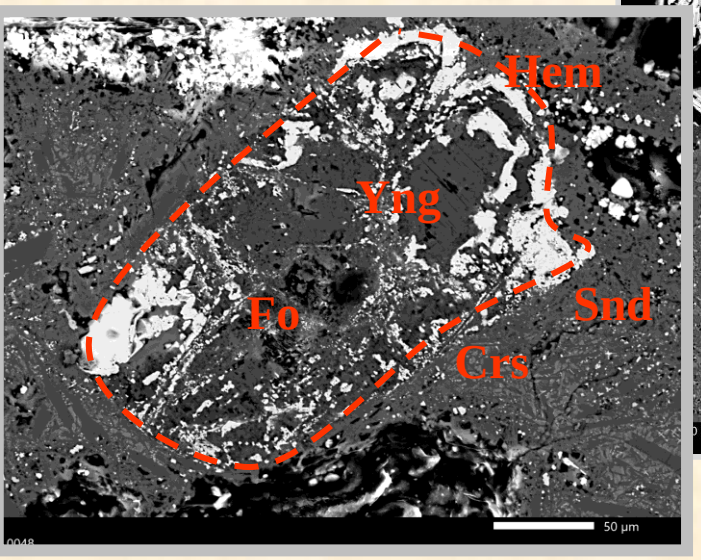


$Fo_{76-86} \rightarrow Fo_{90-99}$ + Hem

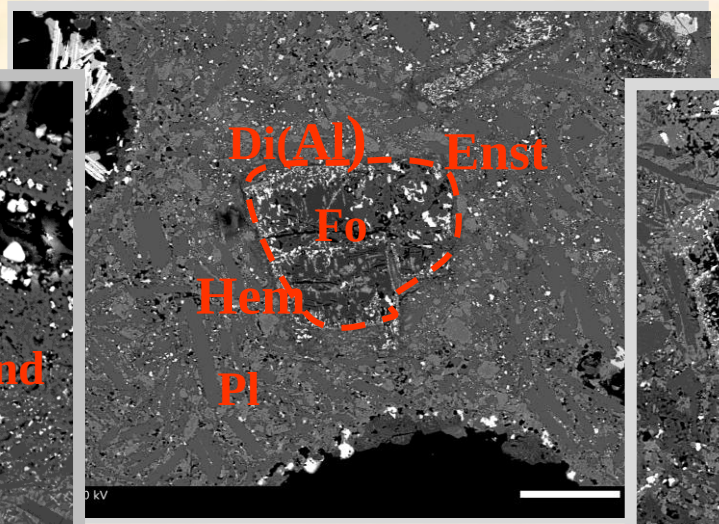
Замещение форстерита:



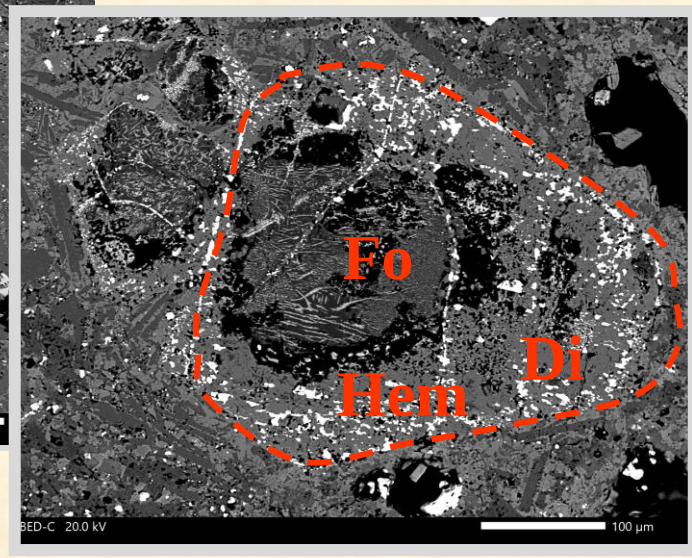
а) кристобалитом



б) янжуминитом



в) энстатитом



г) диопсидом

Общая картина изменения породы в вертикальном разрезе фумаролы

Минералы по Cpx-Pl матрице и стеклу	Минералы по форстериту	Главные видообразующие элементы в инкрустациях
SiO_2 (тридимит)	SiO_2 (тридимит)	K, Na, **Ca, Mg, Al**, *Fe^{3+}*, Cu, Zn, S^{6+}, F, Cl, H
$K[AlSi_3O_8]$	SiO_2 (кристобалит), $KMg_{2.5}[Si_4O_{10}]F_2$	K, Na, **Ca, Mg, Al**, *Fe^{3+}*, Cu, Zn, *Si*, S^{6+}, As^{5+}, F, Cl, B
$K_{0.6}Na_{0.4}[AlSi_3O_8]$	$Mg_2[Si_2O_6]$, $KMg_{2.5}[Si_4O_{10}]F_2$	K, Na, **Ca, Mg,** *Fe^{3+}*, **Al,** *Si*, S^{6+}, As^{5+}, F, Cl
$Ca(Mg,Al,Fe)[Si(Si,Al)O_6]$	$Mg_2[Si_2O_6]$	**Ca, Mg,** Na, *Fe^{3+}*, **Al**, *Si*, P^{5+}, As^{5+}, V^{5+}, S^{6+}, W, Mo, F, Cl, B
$CaMg[Si_2O_6]$	$CaMg[Si_2O_6]$	
$Na_6Ca_2[Al_6Si_6O_{24}](SO_4)_2$		

Ca, Mg, Al – элементы с низкой летучестью (EF≈ 1)

Si, Fe – элементы с относительно низкой летучестью (EF<5)

K, Na, Cu… - летучие элементы *(Zelenski et al., 2014)*

Публикации по теме исследования:

Булах М.О., Кошлякова Н.Н. *Газово-метасоматическое изменение базальта в минерализованных зонах фумаролы Арсенатной, вулкан Толбачик, Камчатка* / Новое в познании процессов рудообразования: Труды молодых ученых, посвященные 90-летию ИГЕМ РАН. 2020. С. 25–28.

Булах М.О. *Газово-метасоматическое изменение базальта в высокотемпературных фумаролах окислительного типа на вулкане Толбачик (Камчатка)* / Материалы Международного научного форума «Ломоносов-2021» [Электронный ресурс] URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/22057/125555_uid344724_report.pdf

Материалы проекта обсуждались на Международной научной конференции молодых ученых «Ломоносов-2021»

За помощь в проведении исследований авторы выражают благодарность д.г.-м.н., чл.-корр. РАН, проф. И.В. Пекову