

**Стратегические металлы (Be, Nb, Ta, Li) месторождений Кольского редкометалльного пояса (Арктическая зона, Кольский полуостров, Россия)**



**КОЛМОЗЕРСКОЕ ЛИТИЕВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ.  
Фото керна. ООО «Норникель Технические Сервисы»**

*Морозова Л. Н. – 1, 2, Зозуля Д.Р. – 2, Скублов С.Г. – 3*

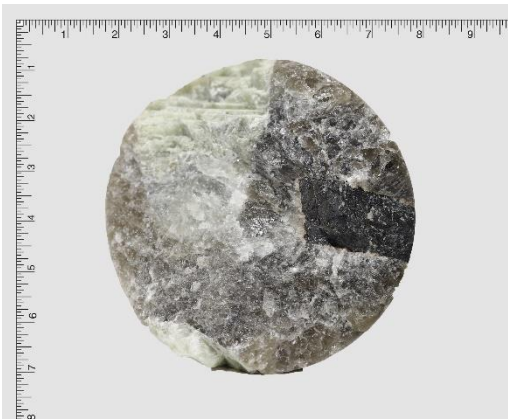
*1– ФГБУ «ВИМС», г. Москва; 2 – ГИ КНЦ РАН, г. Апатиты; 3 – ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург*





## Главные промышленные минералы редкометалльных пегматитов

Элемент	Промышленный минерал	Химическая формула	Оксиды редких металлов	Содержание, %
Li	Сподумен	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	$\text{Li}_2\text{O}$	5,8–7,6
	Лепидолит	$\text{K}_2\text{Li}_3\text{Al}_5\text{Si}_6\text{O}_{20}(\text{F,OH})_4$	$\text{Li}_2\text{O}$	3,4–4,1
	Петалит	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$	$\text{Li}_2\text{O}$	3,2–4,5
Cs	Поллуцит	$\text{CsAlSi}_2\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cs}_2\text{O}$	До 30
Be	Берилл	$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	$\text{BeO}$	10–14
	Берtrandит	$\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$	$\text{BeO}$	40–43
Nb	Пироклор	$\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F}$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$	40–71
			$\text{Ta}_2\text{O}_5$	0,2–10
	Колумбит	$\text{FeTa}_2\text{O}_6$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$	40–76
Ta	Танталит	$\text{FeTa}_2\text{O}_6$	$\text{Ta}_2\text{O}_5$	1–40
			$\text{Ta}_2\text{O}_5$	40–81



Минералы группы колумбита.  
Колмозерское месторождение



Сподумен  
Колмозерское месторождение

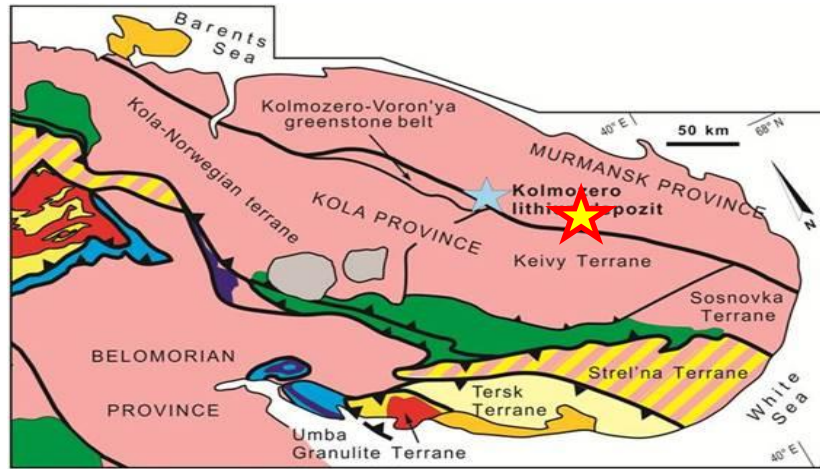


Берилл  
Колмозерское месторождение

Фото керн. ООО «Норникель Технические Сервисы»



# ЛИТИЙ КОЛМОЗЕРСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ



Положение Колмозерского месторождения на тектонической схеме северо-восточной части Фенноскандинавского щита (Daly et al., 2006)

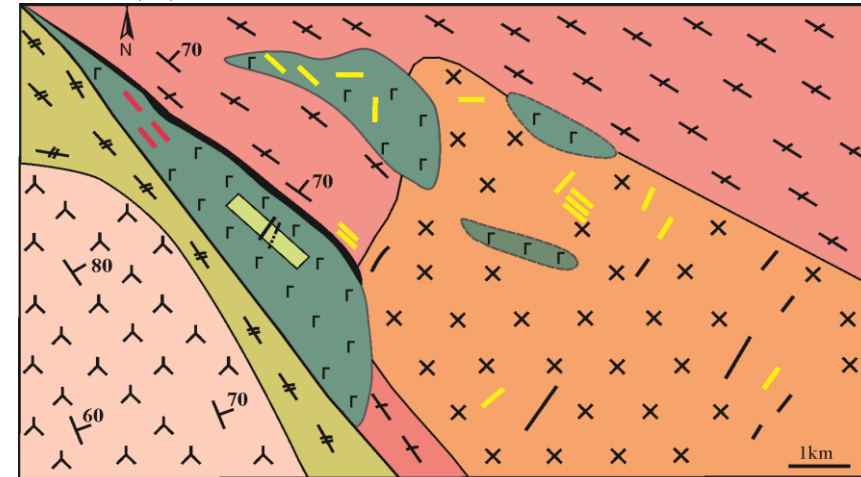
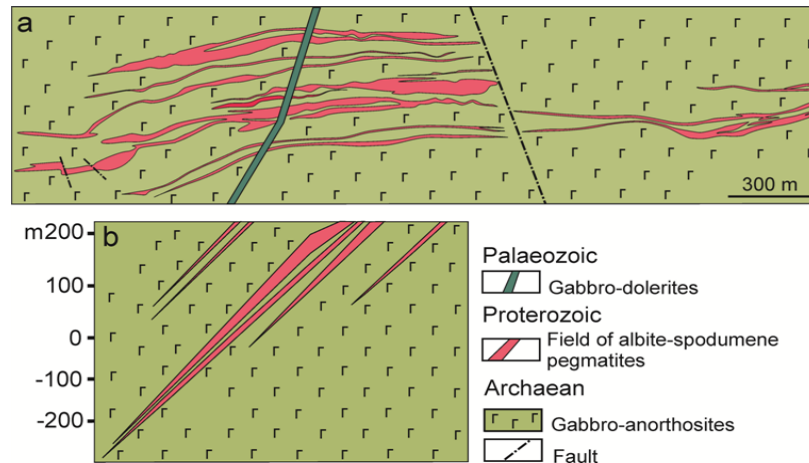


Схема геологического строения Колмозерского пегматитового поля (Морозова, 2018 / Литосфера.)



(a) Схема строения Колмозерского литиевого месторождения. (b) геологический разрез через жилы альбит-сподуменовых пегматитов (Морозова, 2018 / Литосфера)

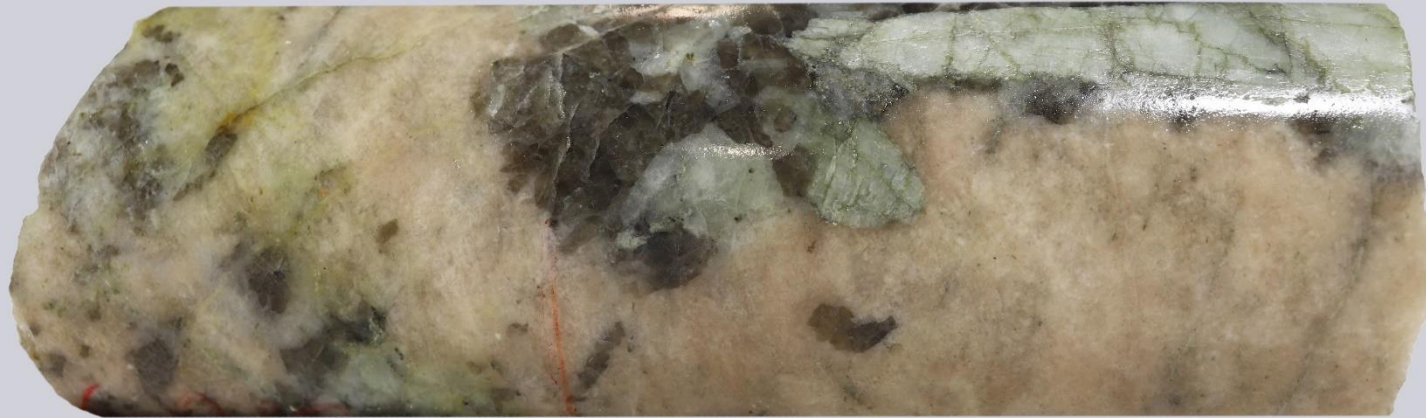
Основными минералами альбит-сподуменовых пегматитов являются: кварц (30–35%), альбит (30–35%), микроклин (10–25%), сподумен, основной минерал лития, (~ 20%) и мусковит (5-7%). Акцессорные бериллы и минералы группы колумбита могут представлять промышленный интерес как источники Be, Ta и Nb, соответственно. Другие акцессорные минералы включают спессартин и апатит, реже литиофилит ( $\text{LiMnPO}_4$ ), трифилит ( $\text{LiFePO}_4$ ) и турмалин (Гордиенко, 1970).

**ЛИТИЙ  
КОЛМОЗЕРСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ**

**Сподуменовый пегматит**



**Сподумен-полевошпатовый  
пегматит**



**Кварц-сподуменовый пегматит**



Содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  в сподумене составляет  
7.44 мас.% (Морозова, Базай, 2019 / ЗРМО)

**Фото керн. ООО «Норникель Технические Сервисы»**

# ЛИТИЙ

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОЛМОЗЕРСКОГО СПОДУМЕНА

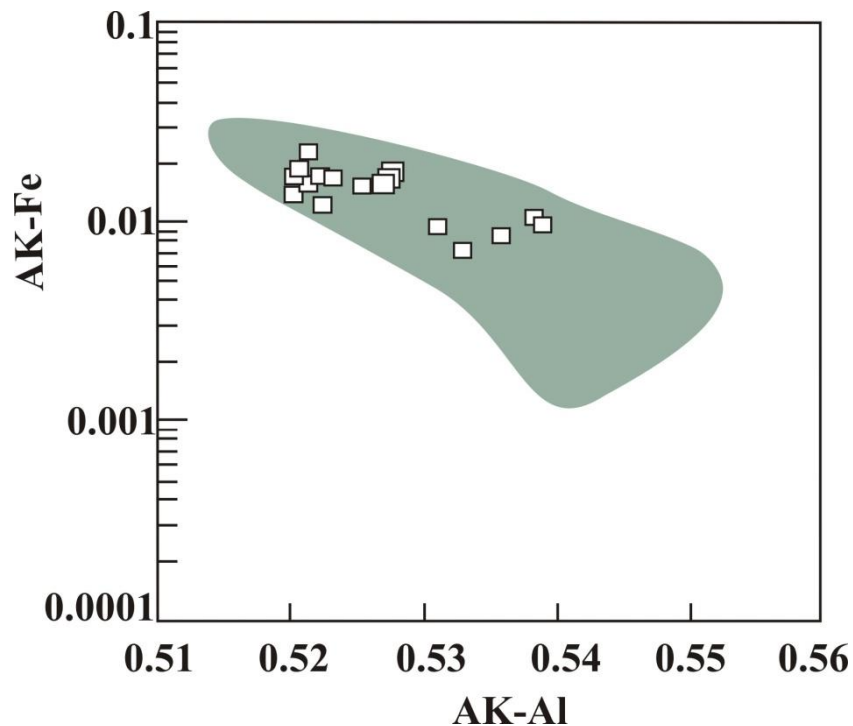
Компоненты	Kl-ГХ-122а	Kl-ГХ-123а	Kl-11а	Kl-23а	Kl-ГХ-23а	Kl-ГХ-11а	Средний состав	Spd-Т	Spd-Р	Spd-Тс
	1а	2а	3а	4а	5а	6а	7а	8а	9а	10а
SiO <sub>2</sub>	64.40а	64.10а	64.12а	64.68а	64.76а	64.12а	64.36а	66.01а	65.68а	63.45а
TiO <sub>2</sub>	<0.01а	0.01а	<0.01а	<0.01а	<0.01а	0.01а	0.01а	-а	-а	-а
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.32а	25.22а	25.64а	25.19а	25.16а	25.40а	25.32а	27.25а	25.6а	27.40а
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.95а	0.45а	1.06а	0.93а	0.72а	1.02а	0.86а	-а	0.51а	0.05а
FeO	0.30а	0.74а	0.17а	0.18а	0.36а	0.16а	0.32а	0.52а	-а	-а
MnO	0.14а	0.29а	0.11а	0.12а	0.12а	0.11а	0.15а	0.13а	0.11а	-а
MgO	0.03а	0.05а	0.05а	0.04а	0.03а	0.05а	0.04а	-а	0.05а	0.01а
CaO	0.11а	0.06а	0.04а	0.22а	0.12а	0.10а	0.11а	0.00а	0.04а	0.16а
Na <sub>2</sub> O	0.49а	0.63а	0.54а	0.35а	0.39а	0.54а	0.49а	0.10а	0.49а	0.11а
K <sub>2</sub> O	0.16а	0.26а	0.24а	0.13а	0.13а	0.23а	0.19а	0.01а	0.22а	0.04а
H <sub>2</sub> O	0.09а	0.06а	0.06а	0.04а	0.11а	0.03а	0.07а	-а	-а	0.11а
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.24а	0.20а	0.47а	0.08а	0.25а	0.27а	0.25а	-а	-а	0.30а
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14а	0.11а	0.05а	0.08а	0.08а	0.12а	0.10а	-а	-а	0.02а
CO <sub>2</sub>	0.32а	<0.10а	<0.10а	<0.10а	<0.10а	0.17а	0.15а	-а	-а	-а
F	0.012а	0.009а	0.008а	0.007а	0.008а	0.008а	0.01а	-а	-а	-а
Cl	<0.004а	0.007а	0.007а	<0.004а	0.006а	0.009а	0.01а	-а	-а	-а
SrO	<0.02а	<0.02а	<0.02а	<0.02а	<0.02а	<0.02а	<0.02а	-а	-а	-а
<b>Li<sub>2</sub>O</b>	<b>7.11а</b>	<b>8.08а</b>	<b>7.46а</b>	<b>7.44а</b>	<b>7.33а</b>	<b>7.20а</b>	<b>7.44а</b>	<b>5.90а</b>	<b>6.4а</b>	<b>7.87а</b>
Rb <sub>2</sub> O	0.0071а	0.0092а	0.0098а	0.0053а	0.0056а	0.0091а	0.0077а	-а	0.0105а	0.002а
Cs <sub>2</sub> O	0.00026а	0.00032а	0.00013а	0.00022а	0.00028а	0.0012а	0.00040а	-а	-а	0.001а
Сумма	99.81а	100.28а	100.03а	99.49а	99.57а	99.55а	99.79а	99.92а	99.12а	99.52а

Примечание. 1–6 – сподумен из редкометалльных пегматитов Колмозерского месторождения; кол. Л.Н. Морозовой; 7 – средний состав сподумена из редкометалльных пегматитов Колмозерского месторождения; 8 – Spd-Т - сподумен из редкометалльных пегматитов Ташелгинского месторождения (Анникова и др., 2013); 9 – Spd-F - сподумен из редкометалльных пегматитов Южная Финляндия (Al-Ani, Ahtola, 2008); 10 – Spd-Тс - сподумен из редкометалльных пегматитов месторождения Танко (Černý, Ferguson, 1972) (Морозова, Базай, 2019/ ЗРМО)

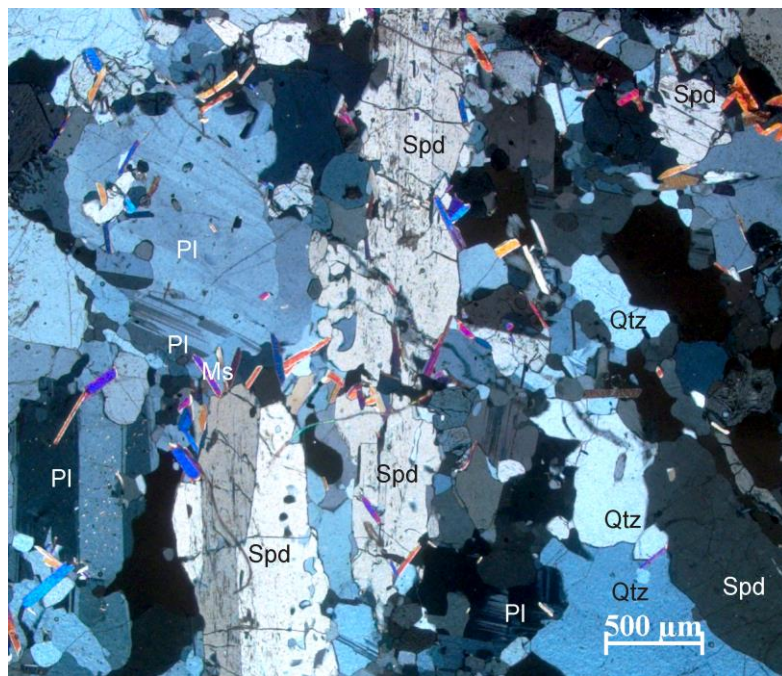


# ЛИТИЙ

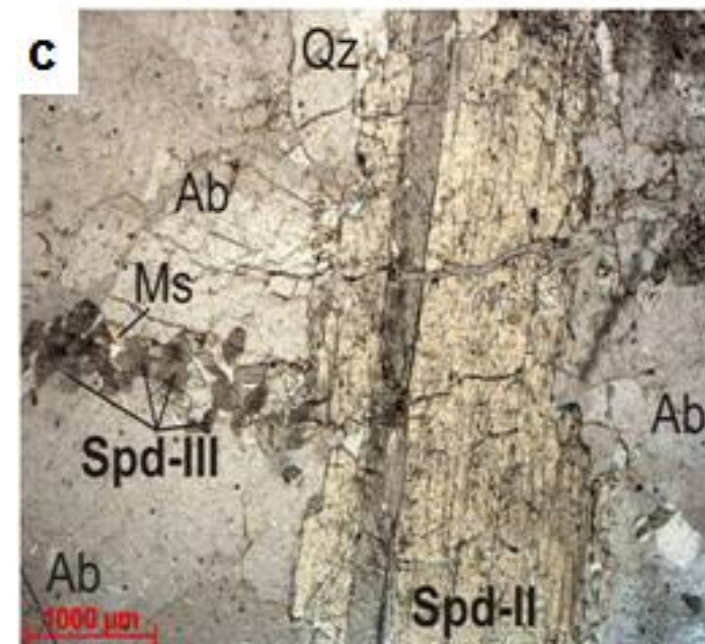
## СПОДУМЕН ИЗ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ КОЛМОЗЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Состав колмозерских сподуменов (белые квадраты) смещается в сторону высоко-железистых сподуменов. Зеленое поле – сподумены из других месторождений (Морозова, Базай, 2019 / Литосфера)

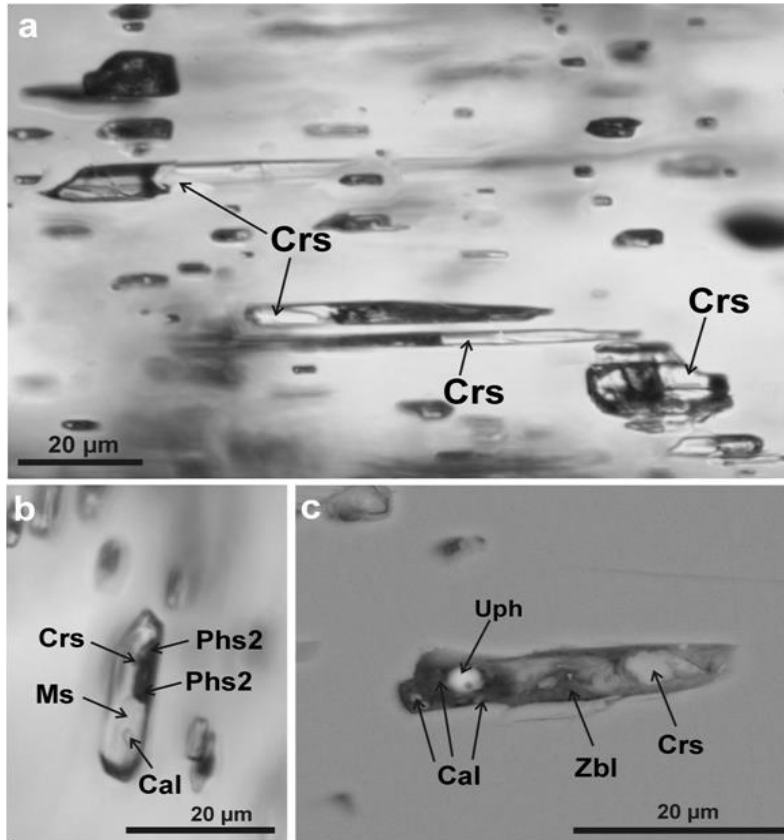


Микрофотографии шлифов альбит-сподуменовых пегматитов. Ab – альбит; Ms – мусковит; Qz – кварц; Spd – сподумен (Morozova et al., 2021 / Mineralogical Magazine).



Высокие содержания Fe, установленные в сподуменах из колмозерских пегматитов, является типичным для сподуменов из редкометалльных пегматитов других регионов. Например, в сподумене из редкометалльных пегматитов Ташелгинского месторождения (Россия) Fe доминирует над Mn, Ca, Na, K, Rb и Cs (Анникова и др., 2013). В сподумене из редкометалльных пегматитов Каустинен (Kaustinen Финляндия) среди второстепенных элементов установлены Fe, Ti, Cr, V, Mn, Mg, Ca, Na, K, Sr, Zn, Nb, P, S и Ni при доминировании Fe над другими элементами (Ahtola et al., 2010). Превышение содержания Fe над другими элементами отмечается для сподуменов из пегматитов других месторождений (Androne, 2005; Filip et. al., 2006). В то же время во вторичном сподумене, который замещает петалит (месторождение Танко; Канада), установлены примеси Fe, Mg, Ca, Na, K, Rb, Cs и P, но доминирующим является Na (Černý, Ferguson, 1972; Stilling, 1998).

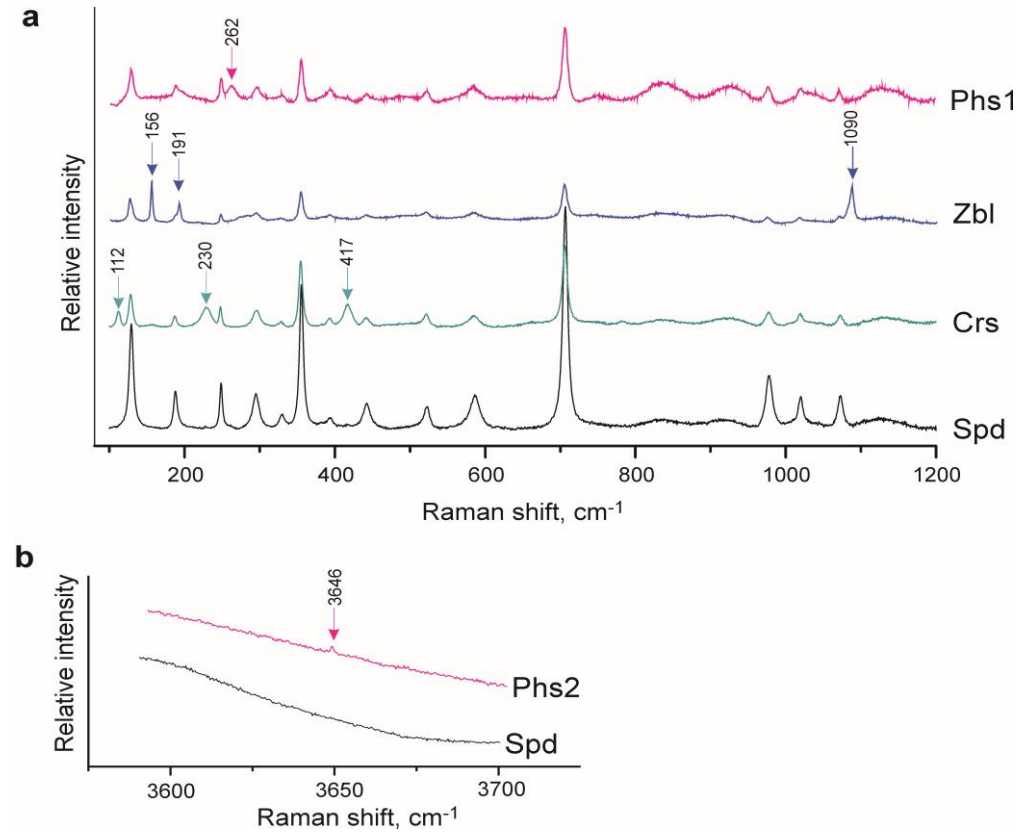
## КРИСТАЛЛОФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В КОЛМОЗЕРСКОМ СПОДУМЕНЕ



Микрофотографии кристаллофлюидных включений в Spd-II

Crs – кристобалит ( $\text{SiO}_2$ ); Spd – сподумен; Phs1, Phs2 – неидентифицированный филлосиликат; Zbl ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) – забуелит; Cal – кальцит; Ms – слюда; Uph, неизвестная фаза (алюмосиликат Fe-Mg-K)

Минеральные фазы в кристаллофлюидных включениях в Spd-II включают: забуелит, кристобалит, кальцит, слюду и неидентифицированные филлосиликат и алюмосиликат. Забуелит и кристобалит ранее в колмозерских пегматитах не отмечались и интерпретируются как продукты реакции между захваченным флюидом и Spd-II. Предполагается, что исходный флюид, существовавший при кристаллизации сподумена (+ кварца), состоял из  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  + растворенные щелочные карбонаты (Morozova et al., 2021 / Mineralogical Magazine).

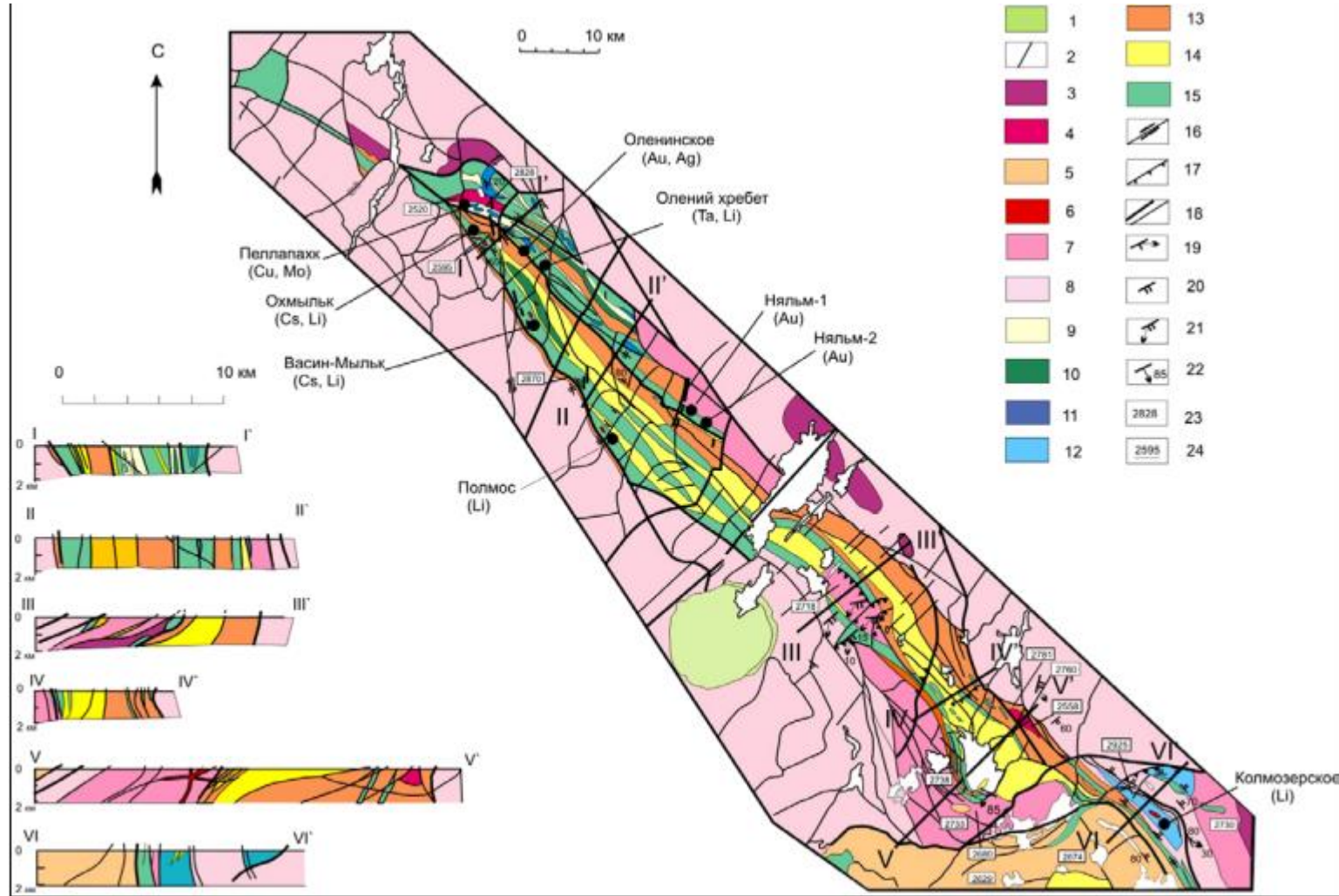


Рамановские спектры твердых фаз в кристаллофлюидных включениях в Spd-II



# ЛИТИЙ

## ПОЛМОСТУНДРОВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, МЕСТОРОЖДЕНИЕ ВАСИН-МЫЛЬК И ОХМЫЛЬК



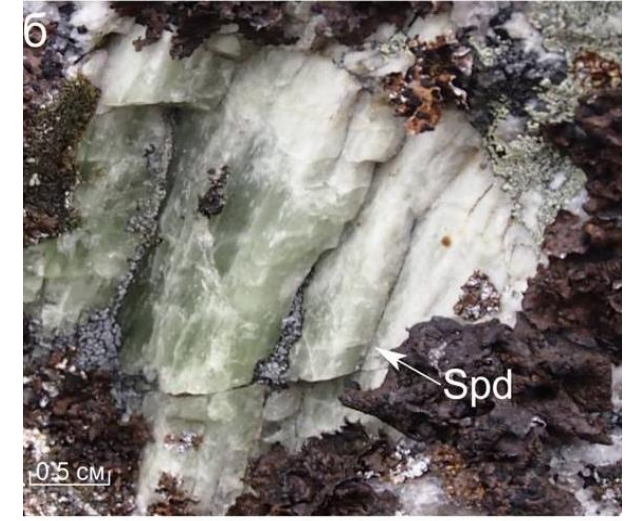
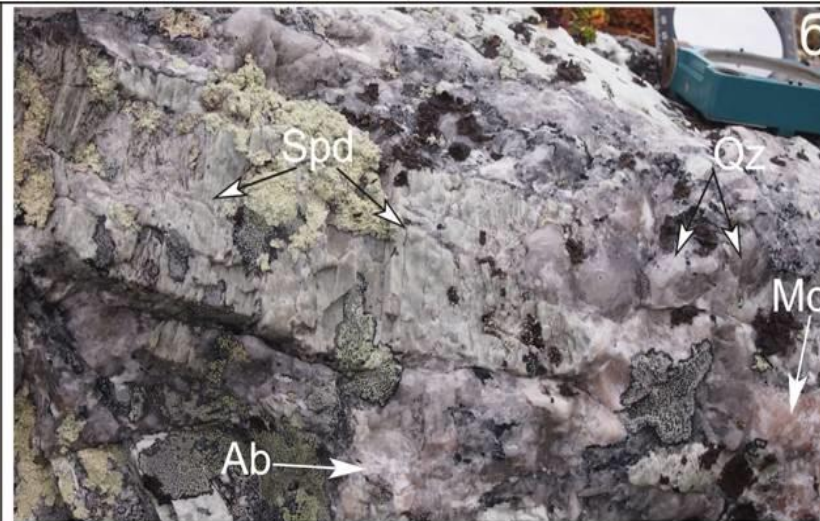
### Условные обозначения

1 - контозерский осадочно-вулканогенный комплекс.  
Интрузивный комплекс: 2 - дайки диабазов и пикритовых порфиров условно протерозойского возраста; 3 - микроклиновые лейкограниты; 4 - турмалиновые граниты; 5 - щелочные граниты и метасоматиты по ним; 6 - гранитные пегматиты с редкометалльной минерализацией; 7 - кварцевые монцодиориты и кварцевые диориты; 8 - плагиомикроклиновые граниты и гранит-мigmatиты; 9 - кварцевые порфиры; 10 - метагаббро и габбро-амфиболиты; 11 - метаперидотиты, метапироксениты, актинолититы, тремолититы; 12 - метагаббро-лабрадориты, амфиболиты и хлоритовые сланцы по ним.  
Вулканогенноосадочный комплекс: 13 - гранат-биотитовые и биотитовые гнейсы, гранат-кианит (андалузит)- биотитовые, гранат-кианит-ставролитовые сланцы гнейсо-сланцевого комплекса; 14 - амфибол-биотитовые, биотитовые, мусковит-биотитовые гнейсы и сланцы лептитового комплекса (этим же цветом показаны гнейсы лебяжинской свиты Кейв); 15 - амфиболиты с реликтами ультраосновных (коматиитовых) и основных метавулканитов, шаровые лавы, железистые кварциты амфиболитового комплекса. Структурные элементы: 16 - сдвиги; 17 - надвиги; 18 - тектонические нарушения различной иерархии; 19 - кливаж с линейностью; 20 - метаморфическая полосчатость; 21 - кристаллизационная сланцеватость с линейностью; 22 - слоистость. Абсолютный возраст по данным U-P-изохронного метода: 23 - магматизма; 24 - метаморфизма

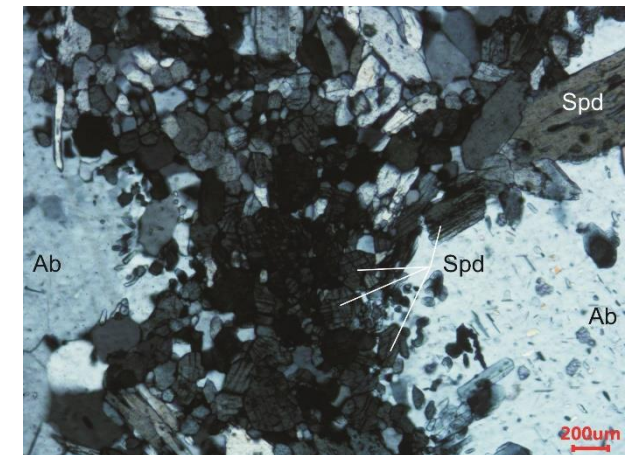
Полмостундровское месторождение, месторождение Васин-Мыльк и Охмыльк на геологической карте-схеме зеленокаменого пояса Колмозеро-Воронья по (Пожиленко и др., 2002)



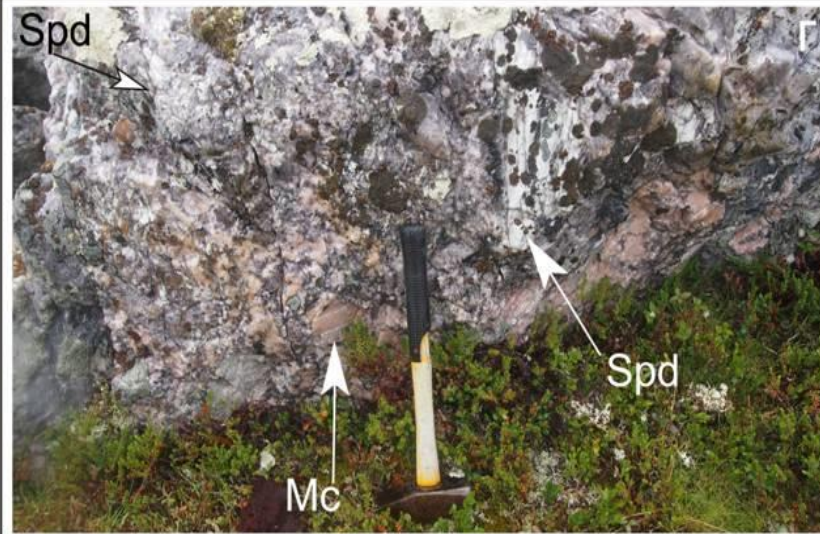
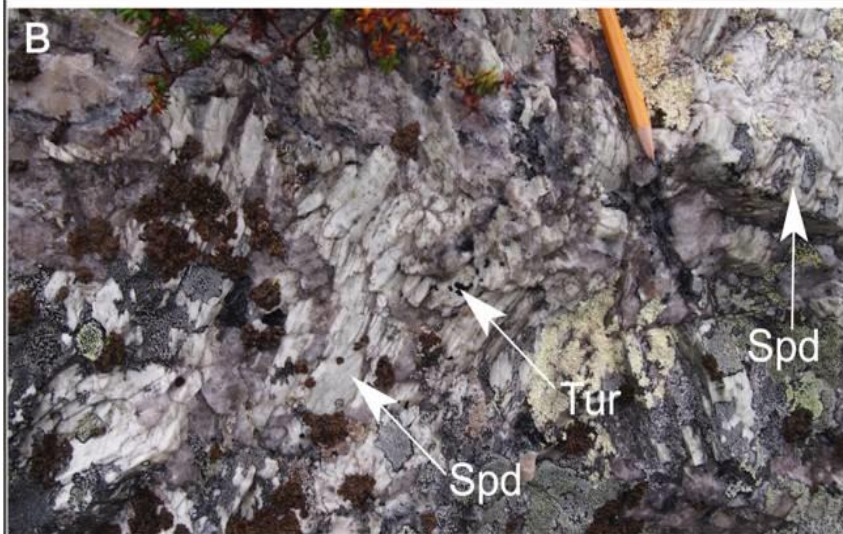
# ЛИТИЙ ПОЛМОСТУНДРОВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ



Цвет сподумена в одном кристалле  
меняется от белого до зеленого



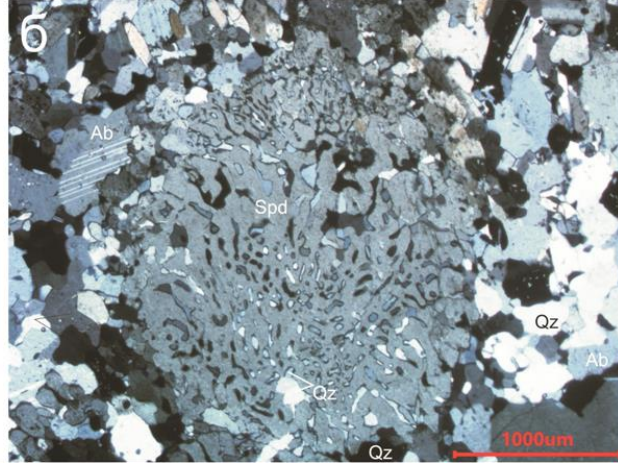
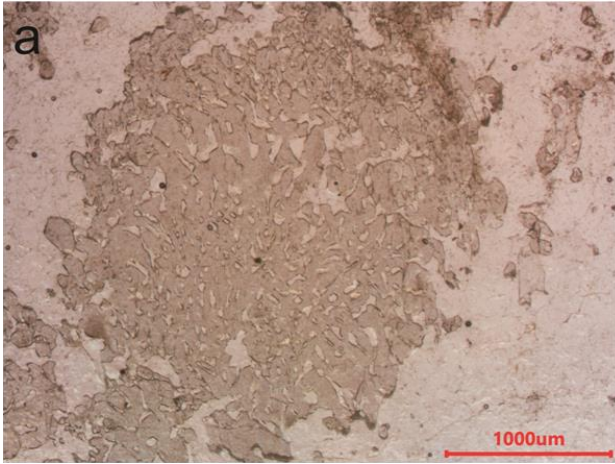
Короткопризматический сподумен



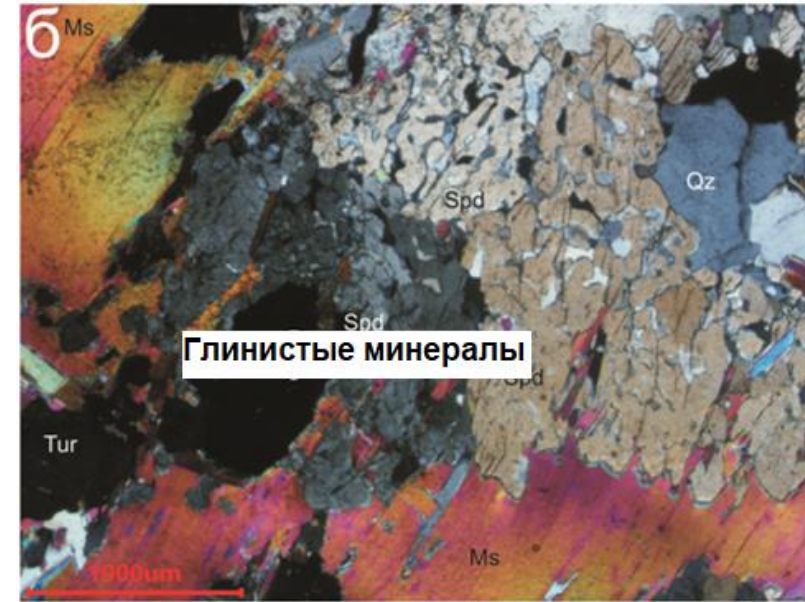
а – Кварц-сподуменовый пегматит; б, г – Сподумен-  
полевошпатовый пегматит; в – Сподуменовый пегматит



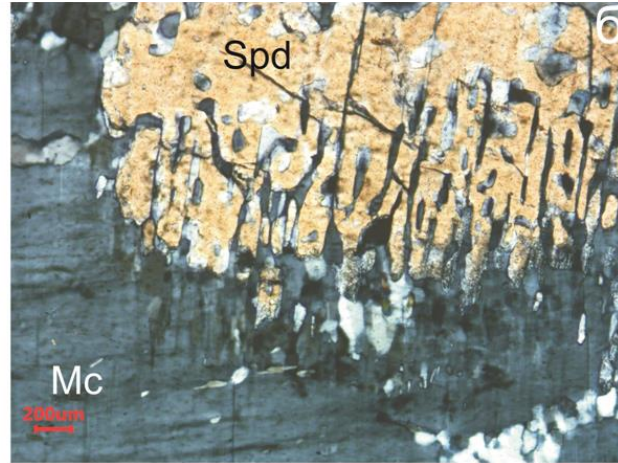
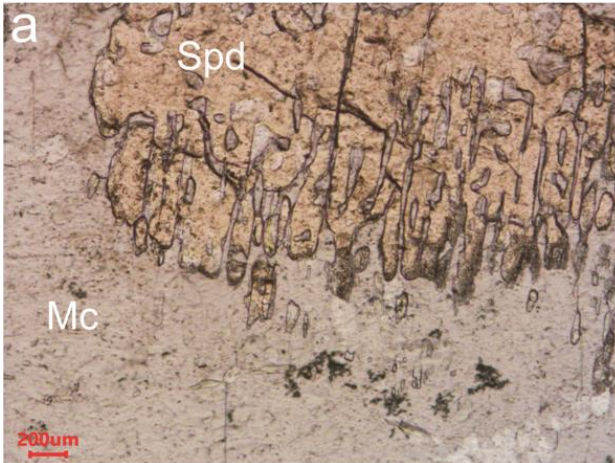
# ЛИТИЙ ПОЛМОСТУНДРОВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ. ЗАМЕЩЕНИЕ СПОДУМЕНА



Замещение сподумена кварцем (мирмикетоподобная структура).



Замещение сподумена глинистыми минералами, кварцем и мелкочешуйчатым мусковитом



Замещение сподумена микроклином

Содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  в сподумене составляет 6.26 мас. %



На границе альбита и сподумена образуется тонковолокнистый агрегат - альбит+эвкрипит ( $\text{LiAl}[\text{SiO}_4]$ ).



# ЛИТИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ОХМЫЛЬК И ВАСИН-МЫЛЬК



Сподумен из пегматитов:  
в, г, д – месторождение Васин-Мыльк;  
е – месторождение Охмыльк (Морозова,  
Базай, 2020)

Содержание  $\text{Li}_2\text{O}$  в сподумене из  
месторождения Васин-Мыльк составляет  
5.42 мас.%



# НИОБИЙ И ТАНТАЛ

## Минералы группы колумбита и микролит в пегматитах месторождений

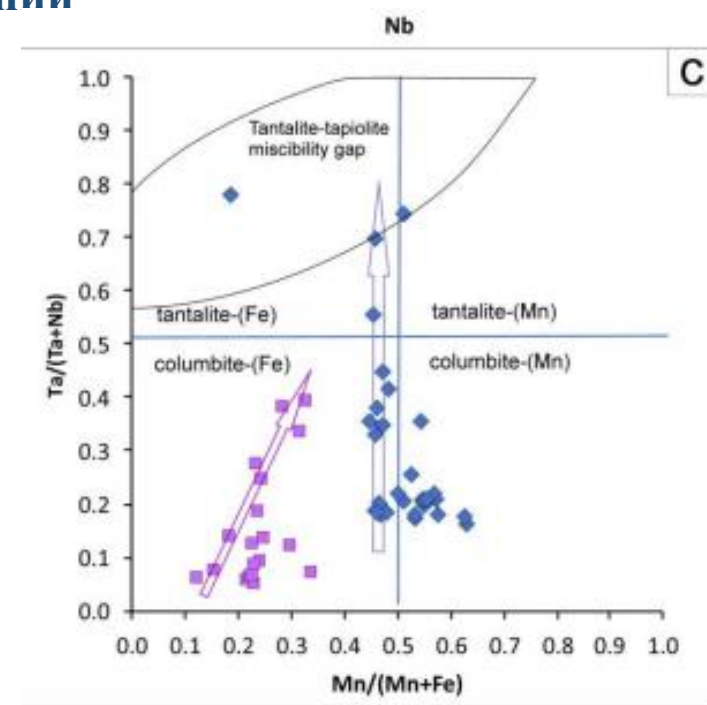
### Кольского редкометалльного пояса

#### *Состав колмозерских МГК (минералы группы колумбита).*

Большинство однородных МГК классифицируются как колумбит-(Fe) или колумбит-(Mn). Большинство неоднородных доменов классифицируются как танталит-(Fe) и колумбит-(Mn) и редко как колумбит-(Fe). Соотношения Ta/(Ta + Nb) и Mn/(Mn + Fe) в этих минералах варьируют в пределах 0.1–0.8 и 0.1–0.63, соответственно

#### *Состав полмостундровских МГК.*

Все минералы показывают составы в поле колумбит-(Fe). Соотношение Mn/(Mn + Fe) варьируют от 0,12 до 0,33, а соотношение Ta/(Ta + Nb) между 0,05 и 0,39.

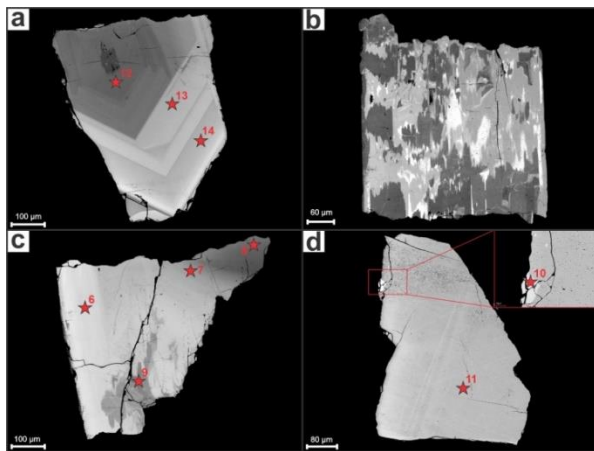


Ромбы синего цвета – Колмозерское месторождение. Прямоугольники – Полмостундровское месторождение

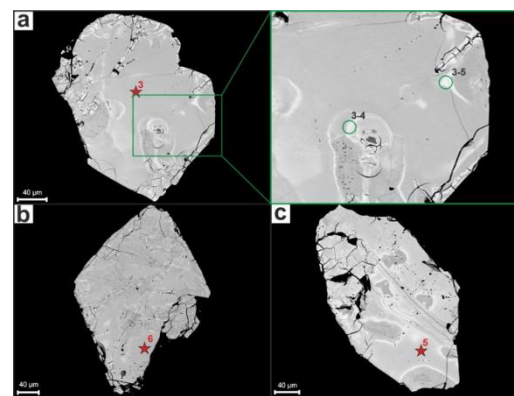
Минералы группы колумбита распространены в пегматитах равномерно, имеют пластинчатый, таблитчатый и короткостолбчатый габитус, цвет минералов – черный.

Преобладающая часть зерен минералов Колмозерского и Полмостундровского месторождений имеет однородную текстуру или осцилляторную зональность. BSE – снимки

Zozulya et al., 2023



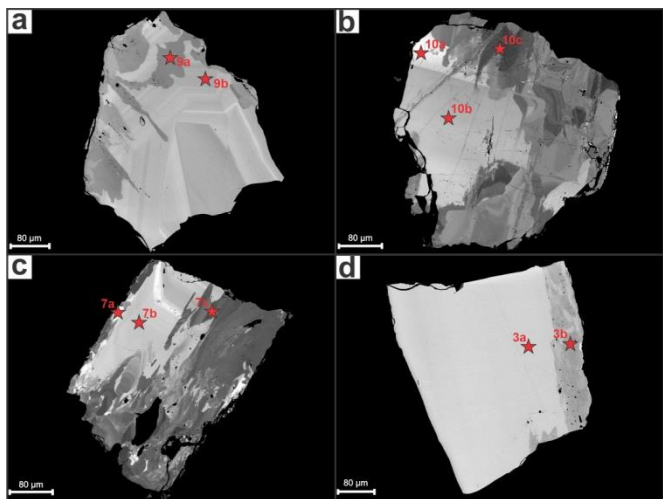
Минералы группы колумбита,  
Колмозерское месторождение



Микролит. Полмостундровское  
месторождение

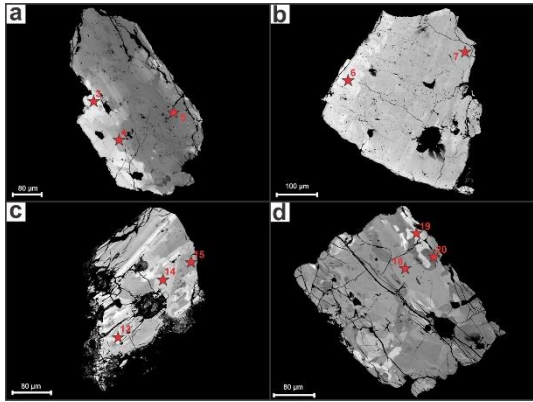
В пегматитах Полмостундровского месторождения в значительном количестве может присутствовать Ta разновидность пироклора – микролит, который характеризуется наиболее высокими содержаниям Ta для Nb-Ta оксидов из данной группы пегматитов ( $Ta/(Ta + Nb) = 0.94-0.97$ ).

Минералы группы колумбита,  
Полмостундровское месторождение

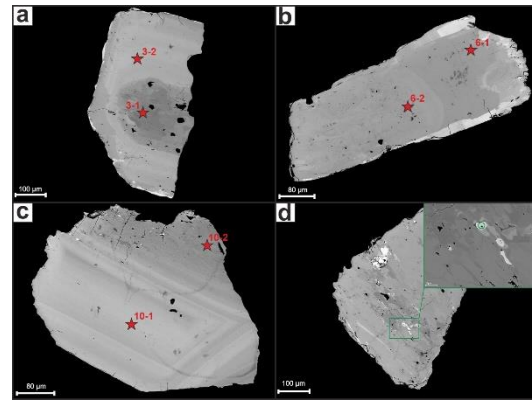


# НИОБИЙ И ТАНТАЛ

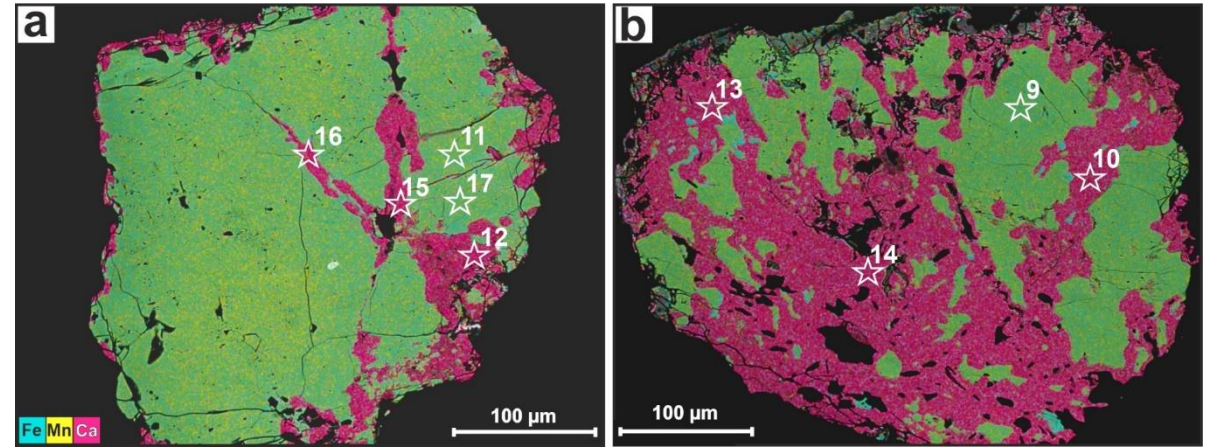
## Минералы группы колумбита и пирохлор в пегматитах месторождений Кольского редкометалльного пояса



Минералы группы колумбита,  
Месторождение Охмыльк



Минералы группы колумбита,  
Шонгуйское месторождение



Ранний пирохлор (зеленый) замещается минералами группы колумбита (красный), месторождение Охмыльк

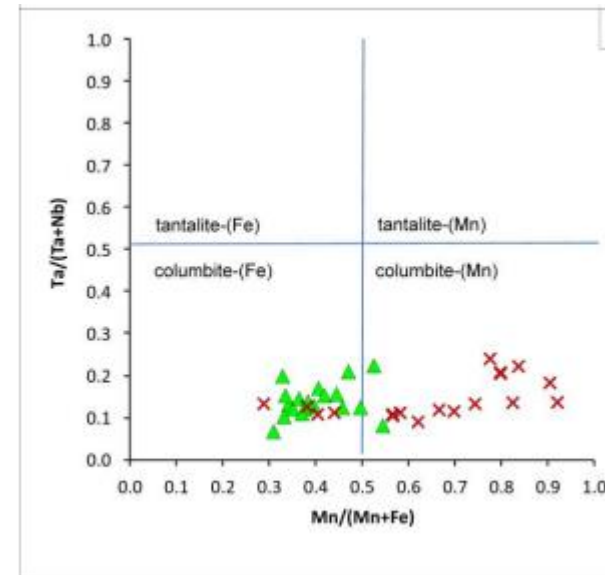
Преобладающая часть зерен минералов группы колумбита из Шонгуйского месторождения имеет однородную текстуру или осцилляторную зональность. Минералы группы колумбита из месторождения Охмыльк характеризуются неоднородной текстурой. BSE – снимки

### Состав МГК из месторождения Охмыльк.

Составы МГК соответствуют колумбиту-(Fe) и колумбиту-(Mn), соотношения  $Mn/(Mn + Fe)$  варьирует в диапазоне от 0,29 до 0,92, а соотношения  $Ta/(Ta + Nb)$  - от 0,09 до 0,24.

### Состав МГК из Шонгуйского месторождения

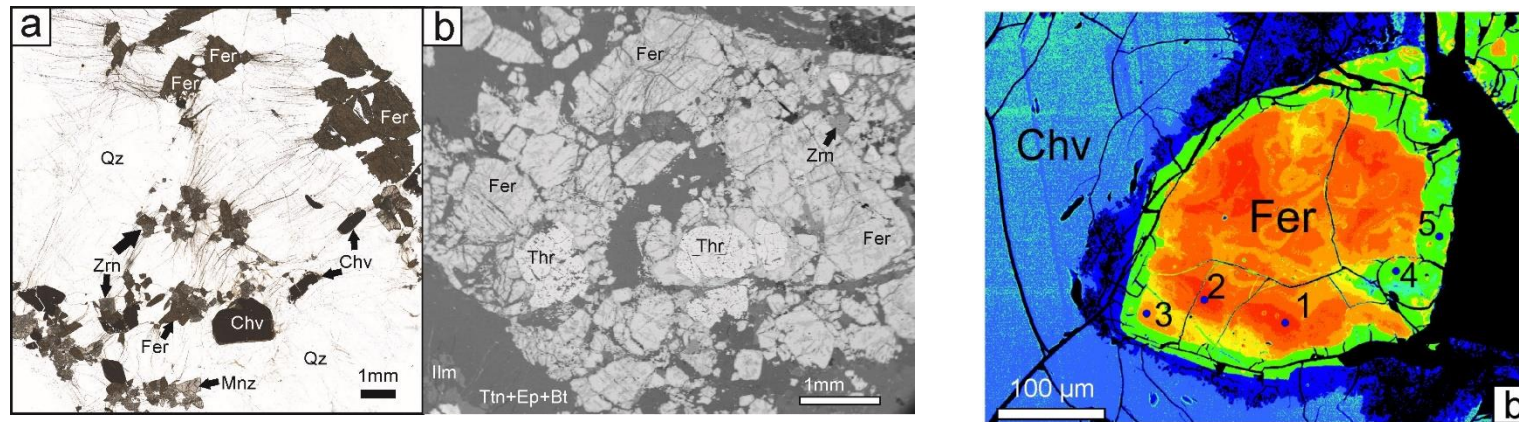
Преобладающим МГК является колумбит-(Fe), за двумя исключениями колумбита-(Mn). МГК показывает соотношения  $Ta/(Ta + Nb)$  в диапазоне от 0,07 до 0,23 (среднее значение 0,14) и  $Mn/(Mn + Fe)$  в диапазоне от 0,31 до 0,55 (среднее значение 0,4



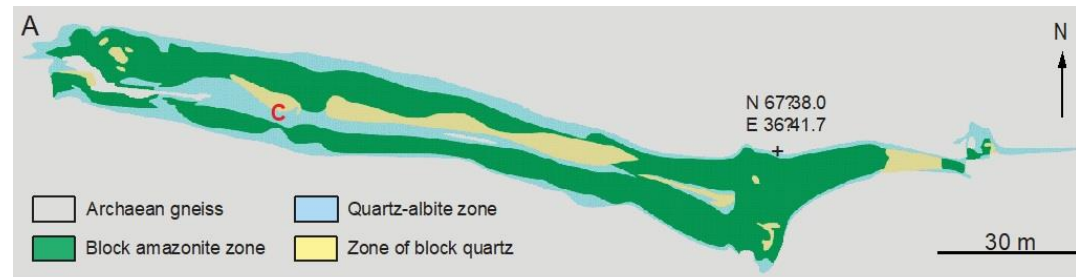
Зеленые треугольники - Шонгуйское месторождение.  
Красные крестики – месторождение Охмыльк



# Nb-Ta оксиды в пегматитах Западных Кейв

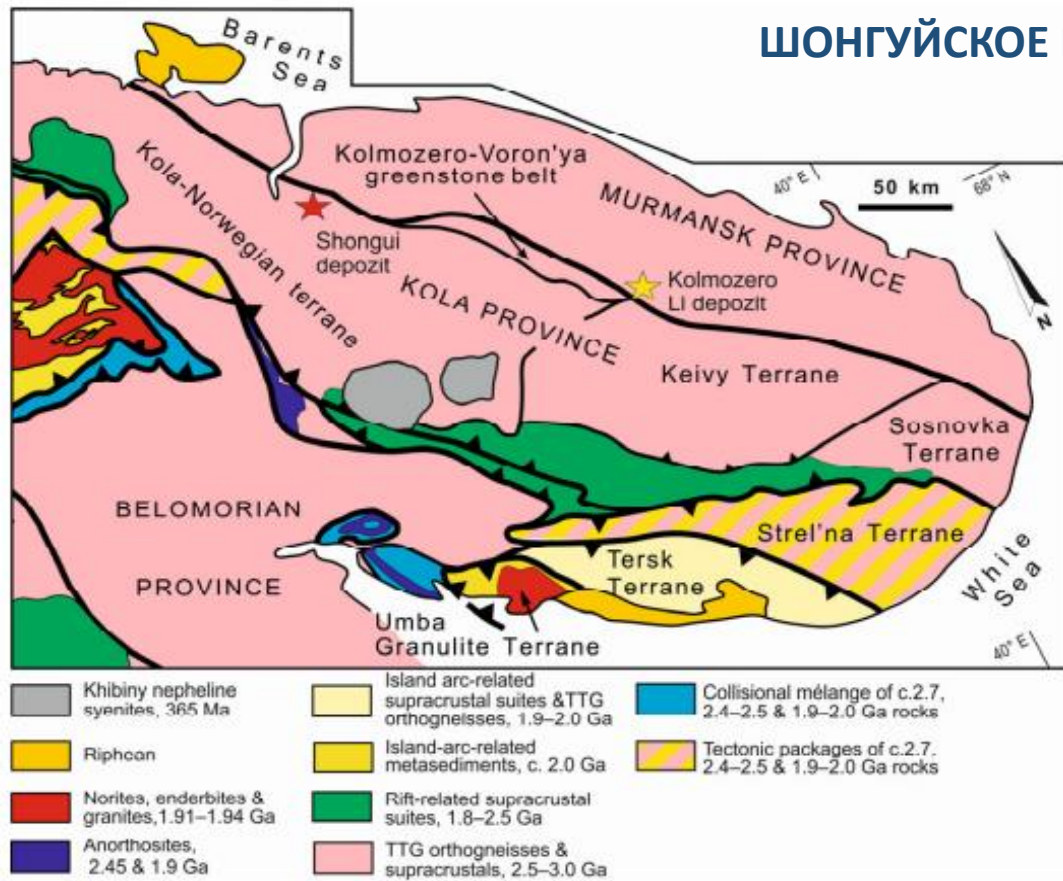


## Фергусонит-(Y), щелочногранитные пегматиты



## Микролит, Плоскогорское месторождение

## БЕРИЛЛИЙ ШОНГУЙСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ



Положение Шонгуйского месторождения на тектонической схеме северо-восточной части Фенноскандинавского щита



Образец берилла из пегматитов Шонгуйского месторождения

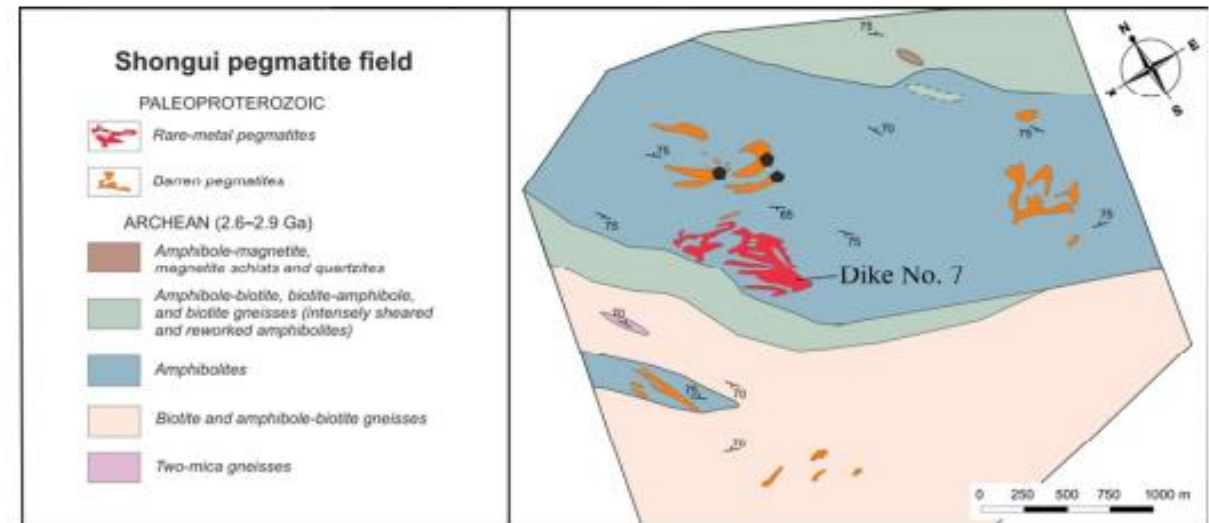


Схема геологического строения Шонгуйского месторождения



# БЕРИЛЛИЙ ШОНГУЙСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

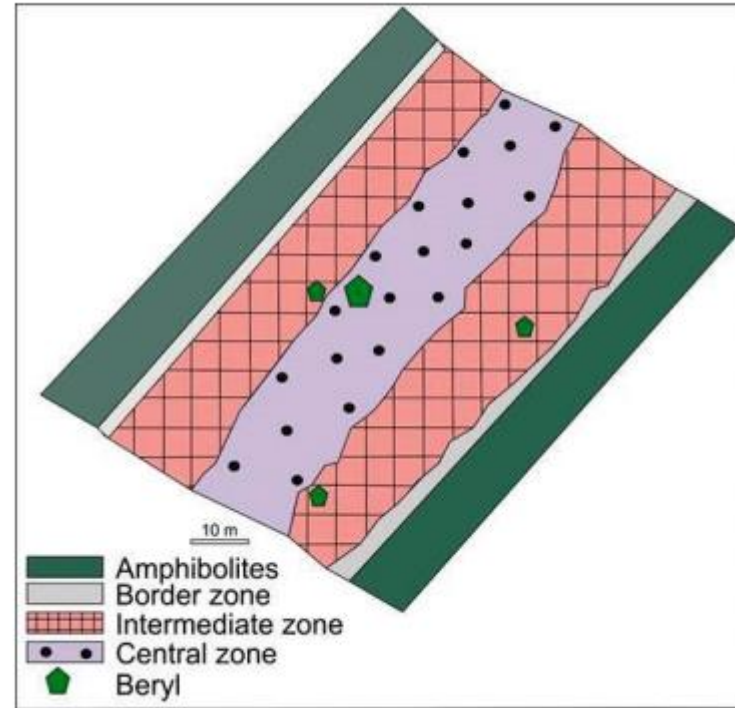
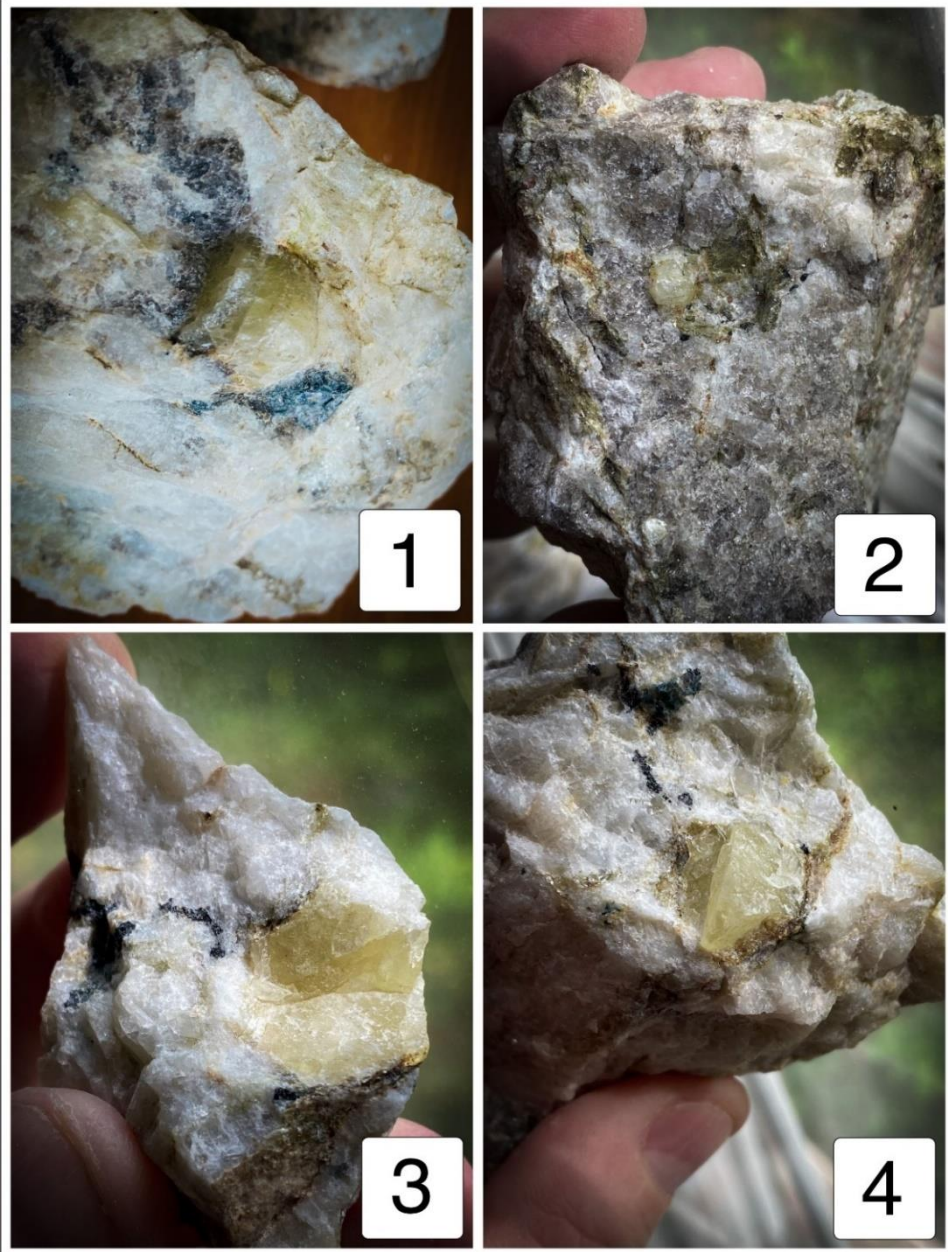


Схема строения жилы №7  
Шонгуйского месторождения

Образцы бериллов из пегматитов  
Шонгуйского месторождения

# БЕРИЛЛ ШОНГУЙСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

**Table 2.** Trace elements in beryl (ppm) from the beryl-bearing pegmatite dike No. 7.

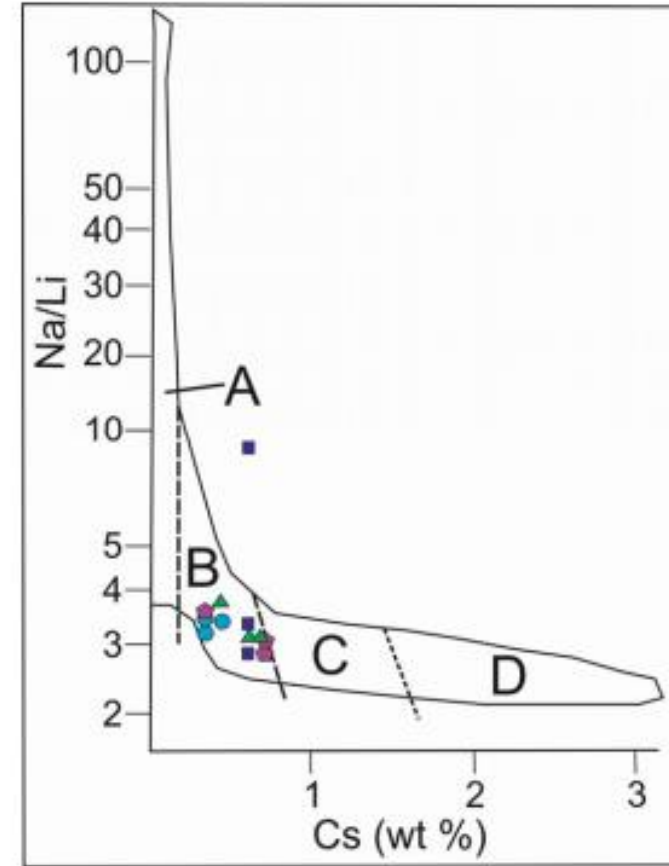
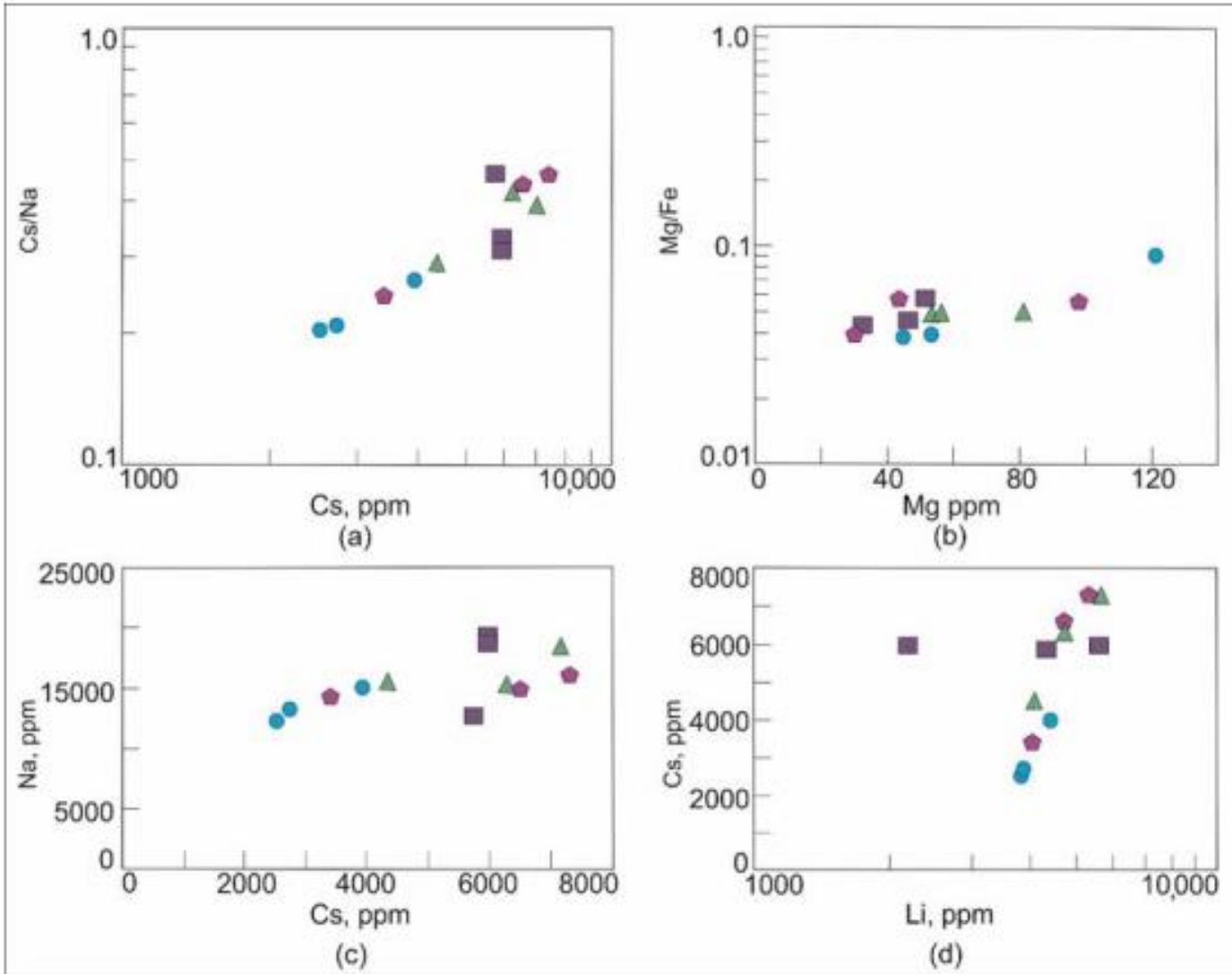
Element	Brl-Ia, Spot SH-39-1			Brl-Ib, Spot SH-30-1-GX			Brl-Ic, Spot SH-6-GX			Brl-II, Spot SH-30-23		
	Core	Rim	Intermediate Zone	Core	Rim	Intermediate Zone	Core	Rim	Intermediate Zone	Core	Rim	Intermediate Zone
P	b.d.l.	16.9	8.63	72	123	57.1	93.4	n.d.	55.6	n.d.	3.69	83.9
Ca	77.1	106	108	41.8	135	115	121	91.7	129	136	133	127
Sc	7.11	7.05	7.82	8.76	7.77	7.30	4.10	4.36	7.06	5.48	5.16	5.58
Cr	28.8	32.4	34.7	15.3	40.9	31.8	50.0	22.4	41.8	37.9	32.5	28.9
Ni	184	189	240	125	341	233	370	146	280	198	208	176
Rb	147	137	146	192	163	164	154	152	131	154	178	186
Sr	0.56	0.71	0.85	0.43	0.93	0.88	0.74	0.63	0.70	0.85	0.79	0.73
Cs	6300	7210	4400	5820	6000	6000	6530	7380	3430	2540	3940	2750
Ga	10.6	10.4	12.4	14.1	12.9	12.1	11.9	11.8	12.5	12.1	10.9	12.7
Mn	91.9	88.5	102	70.6	80.2	82.2	84.3	78.9	106	95.9	93.5	132
V	2.95	3.28	3.23	2.41	3.58	3.56	2.64	2.56	2.77	2.35	2.88	2.43
Ti	9.58	13.8	8.78	10.3	12.7	15.3	8.85	7.27	8.62	10.7	7.81	10.8
K	218	272	392	287	317	259	306	280	330	343	351	341
Mg	55.7	53.5	81.4	32.8	52.4	46.5	43.7	30.6	98.2	53.7	45.5	121
Na	15,200	18,600	15,500	12,600	19,200	18,800	15,000	16,100	14,100	12,400	15,000	12,300
Fe	1130	1090	1670	766	951	1020	774	783	1750	1370	1180	1350
Co	1.76	1.66	1.91	1.85	2.56	1.82	2.21	1.25	1.84	1.58	1.71	1.59
B	0.62	0.61	1.12	0.73	0.48	0.62	0.54	0.65	0.98	0.55	0.55	0.40
Li	4750	5660	4090	4350	5610	2180	4770	5380	4080	3870	4450	3920
H <sub>2</sub> O	38,800	38,600	36,900	37,200	39,800	34,300	39,500	40,100	39,300	37,700	39,900	35,500
F	7.25	12.1	11.6	7.39	9.09	12.9	10.4	12.2	6.68	7.00	12.7	7.63
Cl	9200	11,500	8850	8400	11,900	12,800	8810	10,300	7790	7830	9000	7700
Fe/(Mn+Cr+V)	9.11	8.79	11.9	8.67	7.63	8.68	5.65	7.54	11.6	10.1	9.18	8.26

b.d.l. below detection limit; n.d., not determined.

Химический состав берилла месторождения Шонгуй уникален. Суммарное содержание Li, Cs, K, Rb и Na в берилле составляет 25300 ppm. Содержание Li, Ce и Na составляет 4430, 5000 и 15400 ppm, соответственно. Берилл Шонгуйского месторождения относится к Li-Cs-Na типу, который не выделялся ранее в существующих классификациях (Morozova et al., 2023 / Geosciences)



# БЕРИЛЛ ШОНГУЙСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ



Положение фигуративных точек состава бериллов из Шонгуйского месторождения. А – безрудный пегматит бериллового типа; В – берилл-колумбитовые и берилл-колумбит-фосфатные пегматиты; В – пегматиты альбит-сподуменового типа; D – пегматиты комплексного типа. Поля даны по (Серпу, 2002)

# Стратегические металлы (Be, Nb, Ta, Li) месторождений Кольского редкометалльного пояса (Арктическая зона, Кольский полуостров, Россия)

## ВЫВОДЫ

1. Основным минералом лития в пегматитах месторождений Кольского редкометалльного пояса является сподумен. Лепидолит присутствует в месторождениях Охмыльк и Васин-Мыльк.
2. Ниобий и тантал рассматриваются как экономически важные попутные рудные компоненты в месторождениях Колмозерское, Полмостундровское, Шонгуй, Охмыльк и Васин-Мыльк. Основной рудный минерал представлен группой колумбита.
3. Химический состав берилла месторождения Шонгуй уникален. Суммарное содержание Li, Cs, K, Rb и Na в берилле составляет 25300 ppm. Содержание Li, Ce и Na составляет 4430, 5000 и 15400 ppm, соответственно. Берилл Шонгуйского месторождения относится к Li-Cs-Na типу, который не выделялся ранее в существующих классификациях.



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ. Грант № 22-17-20002,  
<https://rscf.ru/project/22-17-20002/>*

**Авторы выражают благодарность ООО «Норникель Технические Сервисы» за фото керна пегматитов Колмозерского литиевого месторождения**