

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 5, Number 425 (2017), 36 – 54

**G. K. Bekenova<sup>1</sup>, A. V. Stepanov<sup>1</sup>, A. V. Dolgopolova<sup>2</sup>,  
R. Seltmann<sup>2</sup>, V. L. Levin<sup>1</sup>, A. O. Baisalova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Satpaev Institute of Geological Sciences, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Natural History Museum, London, Great Britain.

E-mail: bekenova@mail.ru

### **FEATURES OF TITANIUM-BEARING MINERALS OF VERKHNEE ESPE RARE METAL DEPOSIT (EASTERN KAZAKHSTAN)**

**Abstract.** Titanium mineralization, timed to magmatic and postmagmatic stages with description of occurrence, general appearance, physical properties and chemical composition of minerals: rutile, anatase, ilmenite and its varieties: pyrophanite and eandrewsite; columbite and its varieties; titanosilicates: narsarsukite, lorenzenite, neptunite, natrotitanite, minerals of astrophyllite group and bafertisite; as well as titanium-bearing minerals of pyrochlore group and fergusonite, is considered. Problems of the mineral formation in the high-temperature stage of alkali metasomatism, in which titanium manifests itself as a relatively active element, are discussed.

**Key words:** physical properties, chemical composition, titanium-bearing minerals, alkali metasomatism, Verkhnee Espe deposit.

УДК 549.1:54; 549.634.2; 549.655; 549.657

**Г. К. Бекенова<sup>1</sup>, А. В. Степанов<sup>1</sup>, А. В. Долгополова<sup>2</sup>,  
R. Seltmann<sup>2</sup>, В. Л. Левин<sup>1</sup>, А. О. Байсалова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Музей Естественной Истории, Лондон, Великобритания

### **ОСОБЕННОСТИ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ ВЕРХНЕЭСПИНСКОГО РЕДКОМЕТАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)**

**Аннотация.** Рассмотрена титановая минерализация, приуроченная магматическому и постмагматическому этапам, с описанием местонахождения, внешнего вида, физических свойств и химического состава минералов: рутила, анатаза, ильменита и его разновидностей: пирофанита и экандрюсита; колумбита и его разновидностей; титаносиликатов: нарсарсукита, лоренценита, нептунита, натротитанита, минералов группы астрофиллита и бафертисита; а также титансодержащих минералов группы пирохлора и фергусонита. Обсуждены вопросы их образования в высокотемпературную стадию щелочного метасоматоза, в которых титан проявляет себя, как относительно активный элемент.

**Ключевые слова:** физические свойства, химический состав, титансодержащие минералы, щелочной метасоматоз, Верхнеэспинское месторождение.

**Введение.** Верхнеэспинское месторождение является уникальным геохимическим, минералогическим, петрографическим объектом изучения процессов фенитизации и, связанного с ними, редкометального рудообразования [1-13 и др.]. В отличие от известных месторождений [14-19] для данного проявления характерны следующие особенности: приуроченность к малым интрузиям, представленным щелочными гранит-порфирами и гранофирами, что обусловило сравнительно кратковременное постмагматическое воздействие и небольшую мощность ореолов фенитизации; сложность тектонической обстановки местности, где частая смена направления и интенсивности тектонических напряжений влияла на взаимные наложения потоков флюидов и на перемещение летучих и легкоподвижных компонентов; относительно близповерхностные условия внедрившихся интрузий, что обусловило легкое «вскипание» и образование «потоков» выделявшихся компонентов; контрастность составов вмещающих пород с щелочно-гранитным материалом интрузии; приближение конечного продукта обычно к составу активной интрузии, обуславливающей эту фенитизацию [3]. Распределение полезных компонентов на месторождении от неравномерного до весьма неравномерного, однако, в пределах определенных блоков или даже типов оно может быть достаточно выдержанным. В отдельных телах и жилах содержания достигают:  $ZrO_2$  до 20% и более,  $Nb_2O_5$  до 1-2% и более,  $P_2O_5$  и  $Y_2O_3$  до 5-10% [2]. Минимальные концентрации редких элементов, в целом, по месторождению отмечаются в редкометальнозамещенных пегматитах и альбититах.

Титан на Верхнеэспинском месторождении не является главным элементом. Его содержание в щелочных гранитах незначительно. Элемент привнесён, в основном, из вмещающих пород. Участие титана во многих процессах даёт ценную информацию для расшифровки многих аспектов генезиса различных редкометальных проявлений на месторождении. Обнаружение редких титановых и титаносодержащих, в том числе, новых минералов подогревает интерес к рассмотрению на месторождении титановой минерализации.

**Методы исследований титановых и титаносодержащих минералов.** Химический состав минералов детально изучался методом электроннозондового микроанализа на JCSA 733 с применением энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY при ускоряющем напряжении 15 кВ, ток зонда 25 нА, сфокусированном (диаметр 1-2 мкм) зонде. В качестве образцов сравнения использованы: альбит (Na), MgO (Mg);  $Al_2O_3$  (Al);  $SiO_2$  (Si); адуляр (K);  $CaSiO_3$  (Ca);  $TiO_2$  (Ti);  $Fe_2O_3 \cdot MnO$  (Fe, Mn), металлический (Zn); металлические Zn, V, Nb, Ta, Sn, U, Co (Zn, V, Nb, Ta, Sn, U, Co);  $ThO_2$  (Th);  $SrF_2$  (Sr);  $ZrO_2$  (Zr);  $CaF_2$  (F),  $BaSO_4$  (Ba),  $x(PO_4)$  (x - REE).

Детальное исследование химического состава титаносодержащих минералов пироклоровой группы проведено на рентгеноспектральном микроанализаторе Cameca SX-50 в Музее Естественной Истории (г. Лондон).

Химический состав и кристаллическая структура открытых на месторождении минералов: камараита, натротитанита и тарбагатаита были изучены в лаборатории университета Манитоба (Канада) на электроннозондовом микроанализаторе Cameca SX-100 с использованием кристалл-волновых спектрометров.

Рентгенодифрактометрический анализ выполнялся на дифрактометре ДРОН-2,0 с  $Cu_{K\alpha}$  излучением,  $\beta$ -фильтром. Условия съемки дифрактограмм: ускоряющее напряжение - 35 кВ; ток анода - 20 мА; шкала: 2000 имп; постоянная времени 2 с; съемка  $\Theta$ - $2\Theta$ ; детектор 2 град/мин.

Для определения валентного состояния железа в составе минералов группы астрофиллита был использован метод мессбауэровской спектроскопии.

**Титановая минерализация Верхнеэспинского месторождения.** Основными минералами титана на месторождении являются рутил, ильменорутит, анатаз, ильменит и его разновидности: пирофанит и экандрюсит; титаносиликаты: нарсарсукит, лоренценит, нептунит, титанит и натротитанит, ифтисит, минералы группы астрофиллита, бафертисит, камараит, цзиньшацзянит; а также титаносодержащие минералы группы пироклора, фергусонит и др. [2-13]. Основными источниками титана на месторождении, очевидно, были диабазы, лампрофиры, габбродиориты и др. породы с относительно высоким содержанием элемента. Титановая минерализация наблюдается в местах контактов гранита с этими породами, а также в локальных местах самих гранитов и во вмещающих породах с высоким содержанием титана, железа и др. элементов.

*Рутил* на месторождении встречается в различных минеральных «нишах»: в криолите в виде плоских иголок, расположенных по спайным взаимно перекрещивающимся направлениям; в продуктах замещения титановых минералов: нарсарсукита [8] и/или астрофиллита. Тёмные кристаллики *брукита* имеют форму плоских удлиненных пластинок. Размеры зёрен перечисленных минералов чаще микроскопические, редко в длину достигают до 2 мм. *Анализ* обычно несколько крупнее. Минерал встречается в форме слегка удлиненных зёрен чаще голубоватого или желтоватого цвета. Все три оксида образуются в качестве продуктов замещения нарсарсукита. *Ильменорутил* характерен только для выходов пород, содержащих углеродистое вещество, где он также образуется в результате замещения нарсарсукита, но в отличие от других вариантов замещения, он обычно полностью выносится из объёма кристаллов исходного минерала нарсарсукита.

*Ильменит* в гранодиоритах и в породах основного и среднего состава встречается в виде мелких (редко превышающих несколько мм) уплощённых кристаллов. В пегматоидных образованиях он обычно образует крупные (до 8 см при толщине 1–1,5 см) таблитчатые кристаллы. Реже минерал встречается в продуктах замещения нарсарсукита. Изучение химического состава минерала из разных мест месторождения показало значительные вариации от собственно ильменита до крайних членов рядов замещения: экандрюсита и пирофанита (таблицы 1, 2). *Марганцевые и цинковые разновидности ильменита* встречаются в виде мелких (чаще менее 1 мм) уплощённых кристаллов. Относительно высокое содержание железа в минерале отмечается в образцах из интрузивов, не подвергшихся ещё глубокой постмагматической переработке (таблица 1, анализы 1-4), и из мест, близко примыкающих к дайкам основных пород, богатых титаном и железом (габбро, лампрофиры и др.) (анализы 5, 6).

Таблица 1 – Химический состав ильменита, мас. %  
Table 1 – Chemical composition of ilmenite, wt. %

Минерал	Марганцевый ильменит				Цинк-марганцевый ильменит		Марганец-цинковый и цинк-марганцевый ильменит						Zn-Mn-ильменит
	Пегматоидное тело в интрузиве (обн. 61. ЮЗ Большого выхода)				Вблизи дайки лампрофиров (СЗ Большого выхода)		Жильное проявление (к востоку от Малого выхода)						
Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,64	0,82	0,75	0,90	0,77	1,60	0,47	0,74	1,06	0,69	0,25	0,64	0,00
SiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
TiO <sub>2</sub>	54,83	54,78	52,95	55,73	53,61	53,23	54,33	55,48	53,97	52,67	52,01	51,23	54,19
MnO	6,28	7,45	8,29	8,02	5,20	5,55	8,84	8,11	8,94	10,41	10,63	12,62	10,59
FeO	38,27	36,51	35,32	33,00	35,56	30,52	35,01	28,33	25,18	23,93	20,29	19,30	19,84
ZnO	0,41	0,35	0,34	1,82	6,55	10,31	1,42	7,65	9,68	8,73	16,14	14,75	15,11
Σ	100,43	99,91	97,65	99,47	101,69	101,21	100,07	100,31	98,82	96,43	99,32	98,54	99,92
Количество в формуле в расчёте на O=3 ат.													
Nb <sup>5+</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Si <sup>4+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti <sup>4+</sup>	1,02	1,03	1,02	1,04	1,00	1,00	1,02	1,04	1,03	1,03	1,01	1,00	1,03
Mn <sup>2+</sup>	0,13	0,16	0,18	0,17	0,11	0,12	0,19	0,17	0,19	0,23	0,23	0,28	0,23
Fe <sup>2+</sup>	0,79	0,76	0,76	0,69	0,74	0,64	0,73	0,59	0,53	0,52	0,44	0,42	0,42
Zn <sup>2+</sup>	0,01	0,01	0,01	0,03	0,12	0,19	0,03	0,14	0,18	0,17	0,31	0,28	0,28

Значительные вариации химического состава минерала от зерна к зерну (анализы 5, 6 и 7-12) и даже в пределах одного зерна с характерной «пятнистостью» (анализы 7, 8) (рисунок 1), указывают на широкое развитие ионообменных процессов. Содержание железа в образце минерала из пегматоидной жилы во вмещающей породе (анализ 13) уменьшается почти в два раза с одновременным

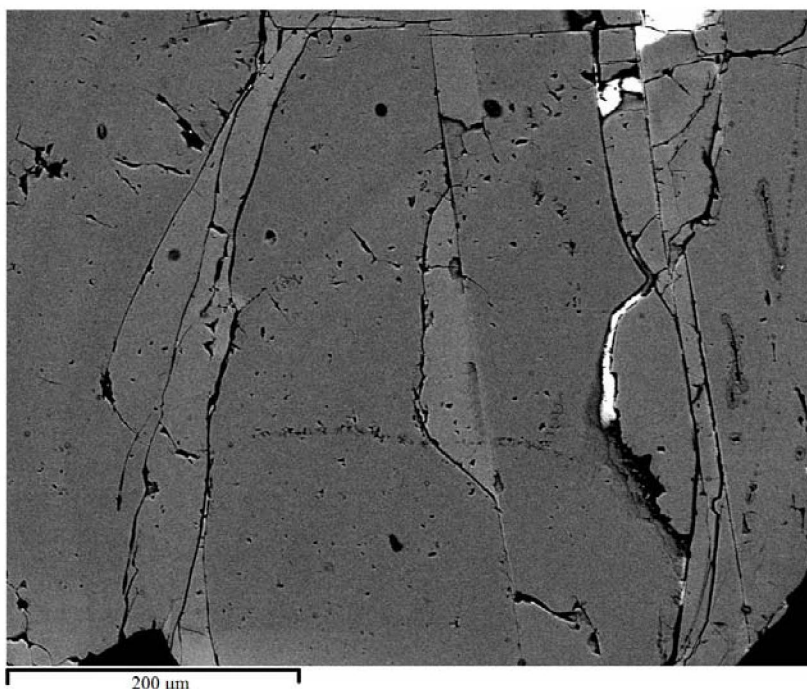


Рисунок 1 – Ильменит с низким (ZnO 1,42 мас. %) содержанием цинка (тёмно-серое) (таблица 1, анализ 7), с повышенным (ZnO 7,65 мас. %) содержанием цинка (серое) (анализ 8). Микроразмерные включения касситерита (белое). BEI

Figure 1 – Ilmenite with low (ZnO 1.42 wt. %) content of zinc (dark-grey) (table 1, analysis 7), with high (ZnO 7.65 wt. %) content of zinc (grey) (analysis 8). Micro-inclusions of cassiterite. BEI

ростом марганца и цинка. В составе ильменита отмечается незначительное содержание ниобия, замещающего титан.

Химический состав *титансодержащего касситерита*, находящегося в ассоциации с ильменитом в жильном проявлении (к востоку от Малого выхода) (рисунок 1), усредненный по 5 анализам (мас.%) следующий: TiO<sub>2</sub> 0,90; FeO 0,72; Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,59; SnO<sub>2</sub> 97,37; Σ 99,58. Его рассчитанная кристаллохимическая формула имеет вид: (Sn<sub>0,96</sub>Ti<sub>0,02</sub>Fe<sub>0,01</sub>Nb<sub>0,01</sub>)<sub>1,00</sub>O<sub>2,00</sub>.

*Экандрюсит* – цинковая разновидность ильменита, ранее был встречен А.В. Степановым в виде мелких зёрен в небольшом (0,5-0,6 м) рудном «столбе» интенсивной проработки флюидов вблизи 1-го рудного тела и дайки основных пород. Внешне минерал практически не отличался от ильменита и был выявлен первоначально рентгеновским анализом. Электроннозондовый микроанализ показывает вариации химического состава минерала (таблица 2, анализы 1-5). Марганцевая разновидность ильменита – *пирофанит* (таблица 2, анализ 6) встречается в ассоциации с эгирином, цирконом и микроклином вблизи 1-ого рудного тела (рисунок 2), а микровключения цинксодержащего пирофанита были обнаружены на 13-ом рудном теле в ассоциации с астрофиллитом и тарбагатаитом. Образование всех разновидностей ильменита характерно для зон с самой активной щелочной, существенно натриевой, проработкой.

Колумбит встречается сравнительно часто в шлихах разных мест месторождения; в коренных проявлениях редко в виде удлинённых непрозрачных пластинок чёрного цвета размером до 10x4x0, *n* мм, не образуя значительных скоплений. Изучен химический состав *титансодержащего колумбита* (таблица 3, анализы 1-4) из пегматоидной жилы в экзоконтакте Большого выхода и столбообразной крутопадающей зоны прорыва флюидов в щелочном граните, оставившего здесь обильную и разнообразную, преимущественно, редкоземельную тонковкрапленную минерализацию с характерными минералами: таленитом, флюоцеритом, роуландитом, иттрофлюоритом, фосфатами редких земель, фторкарбонатами и др. Титансодержащий колумбит из этого проявления отличается повышенным содержанием в своём составе иттрия и незначительным – урана. *Титансодержащий марганеколумбит* (анализ 5) был выявлен электроннозондовым микроанализом



Таблица 2 – Химический состав экандрюсита и пирофанита, мас. %

Table 2 – Chemical composition of escandrewsite and pyrophanite, wt. %

Минерал	Экандрюсит					Пирофанит
	Небольшой (0,5–0,6 м) рудный «столб» интенсивной проработки флюидов, 1 рудное тело					Вблизи 1 рудного тела
Компоненты	1	2	3	4	5	6
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,36	0,39	0,78	0,09	0,00	0,00
SiO <sub>2</sub>	0,32	0,00	0,00	0,00	1,73	0,02
TiO <sub>2</sub>	53,14	50,47	50,26	51,33	51,54	50,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00
MnO	12,89	12,47	12,79	12,25	6,52	23,90
FeO	9,39	8,92	10,87	8,58	6,09	23,00
ZnO	26,46	26,74	22,83	25,17	33,92	1,06
Σ	102,69	98,99	97,53	97,42	100,25	98,85
Количество в формуле в расчёте на O=3 ат.						
Nb <sup>5+</sup>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Si <sup>4+</sup>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Ti <sup>4+</sup>	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98
Al <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Mn <sup>2+</sup>	0,27	0,28	0,29	0,27	0,14	0,52
Fe <sup>2+</sup>	0,20	0,20	0,24	0,19	0,13	0,49
Zn <sup>2+</sup>	0,49	0,52	0,45	0,49	0,64	0,02

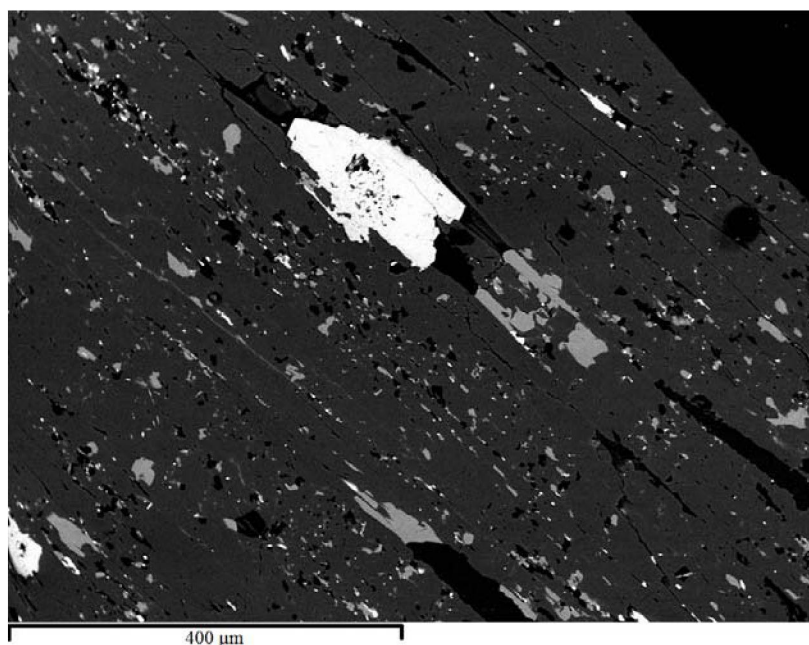


Рисунок 2 – Микровключения циркона (белое), пирофанита (серое) и микроклина (чёрное) в минерале-хозяине эгирине. BEI

Figure 2 – Micro-inclusions of zircon (white), pyrophanite (grey) and microcline (black) in the host mineral aegirine. BEI

Таблица 3 – Химический состав титансодержащих колумбита и манганоколумбита, мас.%

Table 3 – Chemical composition of titanium-bearing columbite and manganocolumbite, wt.%

Минерал	Титансодержащий колумбит				Титансодержащий манганоколумбит
	Место взятия	Пегматоидное тело в интрузиве. 13 РТ		Место прорыва флюидов	ЮВ Малого выхода
Компоненты	1	2	3	4	5
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60,98	73,46	74,33	72,67	68,38
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,66	0,00	0,00	3,10	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	2,43	0,00
TiO <sub>2</sub>	14,55	6,15	6,27	2,57	4,97
SiO <sub>2</sub>	0,39	0,00	0,00	1,33	2,14
UO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	2,08	3,26
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17
MnO	8,87	8,87	8,94	7,92	16,92
FeO	16,69	11,87	11,99	11,50	3,38
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
Σ	102,14	100,35	101,53	104,53	100,68
Количество в формуле в расчёте на O=6 ат.					
Nb <sup>5+</sup>	1,46	1,82	1,82	1,72	1,69
Ta <sup>5+</sup>	0,01	0,00	0,00	0,04	
P <sup>5+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,11	
Ti <sup>4+</sup>	0,58	0,25	0,25	0,10	0,20
Si <sup>4+</sup>	0,02	0,00	0,00	0,07	0,12
U <sup>4+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,01	
Y <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09
Dy <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Mn <sup>2+</sup>	0,40	0,41	0,41	0,35	0,78
Fe <sup>2+</sup>	0,74	0,54	0,54	0,50	0,15
Ca <sup>2+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03

в виде микровключений в астрофиллите в ассоциации с пирофанитом и кварцем из юго-восточной части Малого выхода.

*Титанит* – акцессорный минерал, широко распространённый в гранодиоритах, диоритовых порфиритах, габбродиоритах, детально не исследовался.

*Натротитанит* (Na<sub>0,5</sub>Y<sub>0,5</sub>)Ti(SiO<sub>4</sub>)O был открыт на месторождении при изучении минерального состава фенитизированных пород в экзоконтакте выходов щелочных гранитов, а именно, в псевдоморфозах по нарсарсукиту [5, 7]. Минерал чаще полностью или частично заполняет объёмы бывших кристаллов нарсарсукита звездчатыми сростками желтых или желтовато-белых мелких призмочек. Электроннозондовый микроанализ показал, что он развивается как по периферии и по отдельным трещинкам натроиттросодержащего титанита в виде каёмок (рисунок 3), так и в виде самостоятельных зёрен в ассоциации с эльпидитом и флюоритом [5]. Иногда в псевдоморфозах в центральных частях звездчатых образований можно видеть скопления мелких зёрен рутила, но неясно, развивается он по натротитаниту или наоборот.

Ассоциирующие с натротитанитом минералы: микроклин, альбит, кварц, рибекит, эгирин, биотит, астрофиллит, рутил, циркон, флюорит, иттрофлюорит, эльпидит и др. Цвет минерала молочно-белый до желтовато-серого, черта белая, стеклянный блеск. Усреднённый химический

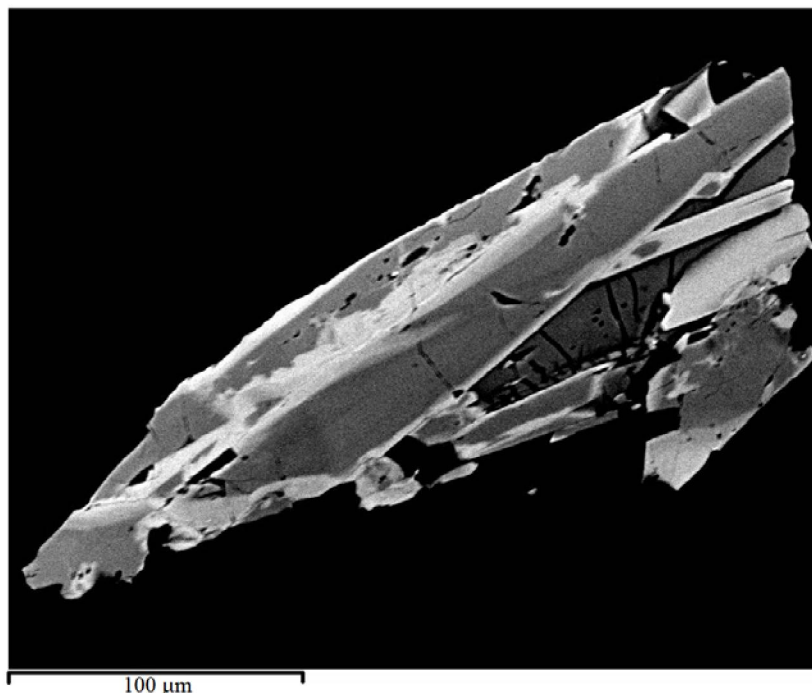
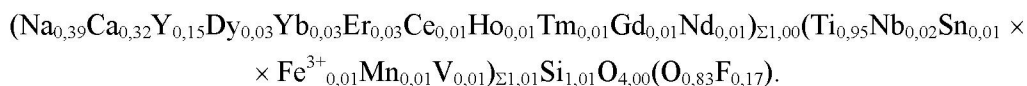


Рисунок 3 - Фрагмент агрегата: натротитанит (белое) и натроиттросодержащий титанит (серое) с иттрофлюоритом (тёмно-серое). BEI

Figure 3 – Fragment of an aggregate: natrotitanite (white) and (Na,Y,REE)-bearing titanite (grey) with yttrifluorite (dark-grey). BEI

состав натротитанита (мас. %):  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  1,28;  $\text{SiO}_2$  27,83;  $\text{TiO}_2$  35,00;  $\text{SnO}_2$  0,57;  $\text{V}_2\text{O}_5$  0,36;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,23;  $\text{Y}_2\text{O}_3$  7,87;  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  0,83;  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  0,26;  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  0,46;  $\text{Tb}_2\text{O}_3$  0,17;  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  2,45;  $\text{Ho}_2\text{O}_3$  0,16;  $\text{Er}_2\text{O}_3$  2,24;  $\text{Tm}_2\text{O}_3$  0,50;  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  2,53;  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  0,35;  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  0,28;  $\text{MnO}$  0,33;  $\text{CaO}$  8,16;  $\text{Na}_2\text{O}$  5,55;  $\text{F}$  1,52  $\text{O:F}$  -0,64;  $\Sigma$  98,71.

Эмпирическая формула, рассчитанная на 3 катиона, имеет вид:



Упрощённая:  $(\text{Na,Ca,Y,REE})\text{TiSiO}_4(\text{O,F})$  и конечная формула ряда:  $(\text{Na}_{0,5}\text{Y}_{0,5})\text{Ti}(\text{SiO}_4)\text{O}$ .

Минерал кристаллизуется в моноклинной сингонии, пространственная группа  $\text{C2/c}$ , параметры элементарной ячейки:  $a = 6,5691(2)$ ,  $b = 8,6869(3)$ ,  $c = 7,0924(2)$  Å,  $\beta = 114,1269(4)^\circ$ ,  $V = 369,4(2)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 4$ . Семь сильных рефлексов порошковой дифрактограммы [ $d$  (Å);  $I$ , ( $hkl$ ): 2,597; 10, (130); 3,248; 8, (11 $\bar{2}$ ); 2,994; 6, (200); 1,641; 4, (330); 4,941; 3, (110); 1,498; 3, (400); 2,273; 3, (11 $\bar{3}$ )] [7].

Реликты разной степени замещенного нарсарсукита на месторождении были встречены в фенитизированных участках экзоконтактов выходов щелочных гранитов, в пегматоидных жилах и в участках активной альбитизации. Собственно *нарсарсукит*  $\text{Na}_2\text{Ti}(\text{Si}_4\text{O}_{10})$  сохранившийся до наших дней был выявлен А. В. Степановым в 80-ые годы прошлого столетия в блоке неполностью замещенной фенитизированной породы на площади 1х3 м в 1-ом рудном теле на месте тектонического срыва, возможно, перекрывшего временно подачу активных флюидов. Минерал образует чаще всего однообразные простые кристаллы по форме напоминающие квадратные «кирпичики» до 3 см, представляющие собой комбинацию тетрагональной призмы с пинакоидом и реже сростки, не имеющие определенной формы [8]. Ранее на месторождении в некоторых пегматоидных телах Большого выхода А. В. Степановым были встречены останцы кристаллов уже замещенного минерала, достигающие до 10 см и выше. Нарсарсукит в пегматитах, по-видимому, был более однородным, без включений. В фенитах, в полном развитии метакристаллы нарсарсукита обычно не содержат включений посторонних минералов. В процессе роста минерал «раздвигал» окружающее его пространство, оттесняя другие минералы. Однако, изредка встречаются и такие метакристаллы,

в центральной части которых содержится очень много включений микроклина, альбита, кварца, эгирина, рибекита или арфведсонита, циркона, пирохлора и др. минералов. На поверхности кристаллов, особенно на базальных гранях и вдоль спайных и других трещинок, залеченных кварцем, наблюдаются мелкие вросшие и/или наросшие листочки астрофиллита. Астрофиллит здесь обычно ассоциирует только с нарсарсукитом и во вмещающей породе не наблюдается.

Химический состав бледно-желтоватых образцов нарсарсукиита из фенитизированных пород (1 рудное тело) представлен в таблице 4 (рисунок 4). В составе изученного минерала постоянно присутствуют фтор, алюминий, цирконий и железо [8]. Соотношение главных компонентов несколько отклоняется от стехиометрических значений. Так, в ряде анализов отчетливо виден некоторый избыток кремния и недостаток натрия. Содержание титана также ниже расчётного. Видимо, он может частично замещаться по схемам:  $Ti \rightarrow Zr$ ,  $Ti \rightarrow Fe$  и частично выноситься. Избыток кремния и одновременный недостаток натрия, возможно, обусловлен частичным (начальная стадия) разложением минерала без видимых изменений зёрен под оптическим микроскопом. Низкое значение суммы можно, частично, отнести присутствию лития, содержание которого не проверялось. В составе минерала нередко отмечалось незначительное (не более 1%) содержание олова.

Таблица 4 – Химический состав нарсарсукиита, (мас.%)

Table 4 – Chemical composition of narsarsukite, wt. %

Компоненты/анализ	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	60,17	59,53	59,07	60,30	59,40	59,64	59,72
TiO <sub>2</sub>	14,67	14,19	14,58	14,84	14,88	14,79	14,38
ZrO <sub>2</sub>	0,56	0,97	1,61	1,24	0,96	0,93	0,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,81	0,70	0,90	0,65	0,65	0,84	0,76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,68	4,15	3,68	3,59	3,35	3,55	3,99
Na <sub>2</sub> O	14,53	14,57	14,22	14,48	13,86	14,55	14,41
F	1,54	1,78	1,79	1,79	1,52	1,70	1,12
Σ	95,96	95,89	95,84	96,88	94,63	96,01	95,24
Количество в формуле в расчёте на Al+Si=4 ат.							
Si	3,94	3,95	3,93	3,95	3,95	3,93	3,94
Ti	0,72	0,71	0,73	0,73	0,74	0,73	0,71
Zr	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
Al	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,07	0,06
Fe	0,18	0,21	0,18	0,18	0,17	0,18	0,20
Na	1,84	1,87	1,83	1,84	1,79	1,86	1,84
F	0,32	0,37	0,38	0,37	0,32	0,35	0,23

Нередко зерна минерала испещрены многочисленными заполненными трещинками, проходящими как по спайным, так и секущим направлениям. В первом случае, полости разрывов широкие (до 50 мкм) и параллельные в виде «каналов», которые заполнены неустойчивой, разлагающейся под воздействием электронного луча, фазой с приблизительным составом (мас. %): Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,48; SiO<sub>2</sub> 12,32; CaO 0,85; TiO<sub>2</sub> 27,53; V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,11; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,92; ZnO 0,89; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4,54; ZrO<sub>2</sub> 3,83; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,37; Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,54; Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,27; Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,21; PbO 4,29; Σ 62,16 мас. %. Из-за малых размеров не представляется возможным детальное изучение заполнений трещинок.

Считается, что нарсарсукиит – хороший ионообменник со способностью варьировать по содержанию примесных элементов, таких как железо, тантал, ниобий, ванадий и, возможно, литий.

Рентгеновская дифрактограмма отобранного образца нарсарсукиита из 1-ого рудного тела Верхнеэспинского месторождения с примесью кварца (5%) и альбита (1%) идентична таковой эталонного образца. Вычисленные параметры элементарной ячейки минерала тетрагональной сингонии:  $a=10,721(3) \text{ \AA}$ ;  $c=7,957(4) \text{ \AA}$ ;  $V=914(1) \text{ \AA}^3$  [8].



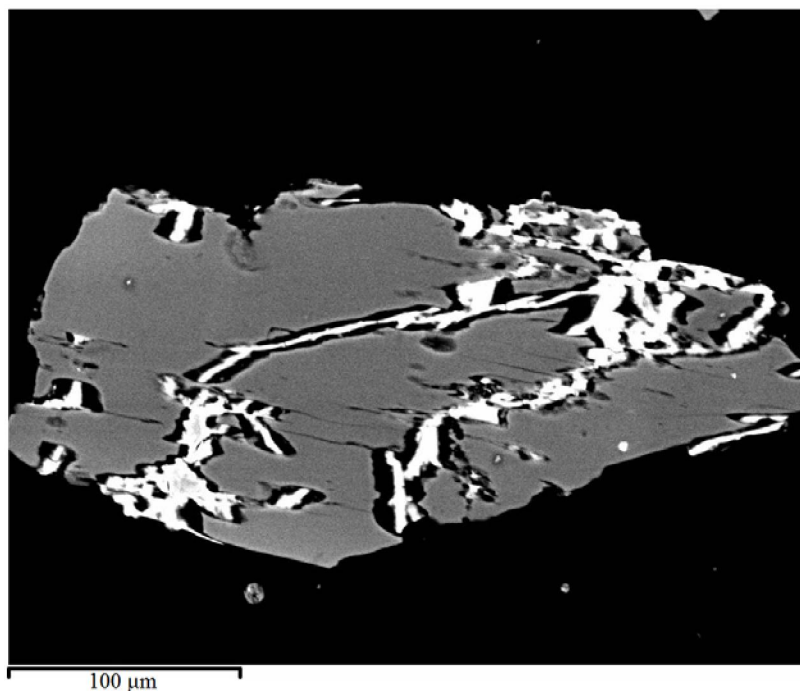


Рисунок 4 – Зерно нарсарсукиита (серое) с «каналами», заполненными неустойчивой (под электронным лучом) тяжелой фазой (белое). BEI

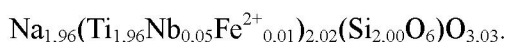
Figure 4 – Grain of narsarsukite (grey) with “channels” filled with an unstable (under electron beam) heavy phase (white). BEI

Несмотря на былое широкое распространение нарсарсукиит является в условиях постмагматической деятельности щелочных гранитов относительно «короткоживущим» минералом, образующимся при альбитизации пегматитов, гранитов; фенитизации вмещающих пород и при смене условий на кислотные легко замещающимся многими титановыми и титансодержащимися менее щелочными минералами, остающимися в объеме бывшего кристалла.

*Нептунит*  $\text{KNa}_2\text{LiFe}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}$ . Минерал встречен А. В. Степановым в центре Большого выхода в пегматитовых телах в псевдоморфозах по нарсарсукииту совместно с кварцем и лоренценитом в виде мелких более или менее изометричных зерен или их сростков. Размер кристалликов от 0,0*n* до 0,*n* мм. Цвет красновато-бурый, в тонких осколках слабо просвечивает. Вне псевдоморфоз нептунит не встречается. Содержание титана ( $\text{TiO}_2$ ) в химическом составе нептунита достигает 25 мас.%. Вторичные изменения нептунита выражаются в замещении его тонкодисперсным агрегатом кремнезема и анатаза бело-серого или голубовато-серого цвета и происходят, очевидно, еще в гипогенных условиях. В зоне выветривания минерал устойчив.

*Лоренценит*  $\text{Na}_2\text{Ti}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)_3\text{O}_3$  образует параллельно-шестоватые, сноповидные или сферолитовые сростки игольчатых или удлинённых пластинчатых кристалликов, развивающихся по нарсарсукииту при его частичном или полном замещении (рисунок 5). Вне нарсарсукиита или псевдоморфоз по нему лоренценит не обнаружен. Размер отдельных призмочек или удлинённых пластинок от 0,0*n* до 1,00 мм. Цвет минерала розовато-серый, сиреневатый. Черта светлая. Твердость не измерялась из-за небольших размеров кристалликов, но в полированных шлифах по сравнению с кварцем, он немного мягче. Химический состав минерала представлен в таблице 5.

Усредненная формула лоренценита, рассчитанная на 2 атома Si, имеет вид:



В составе лоренценита титан замещается незначительным количеством ниобия и железа.

Минералы группы астрофиллита: *астрофиллит*, *куплетскит*, *тарбагатаит* и др. на месторождении распространённые породообразующие минералы. В гранитах встречаются в виде отдельных редких удлинённых листочков или звездчатых скоплений размером до 1 мм. В пегматоидных жилах астрофиллит образует или очень тонкие и длинные пластинки-листочки размером до

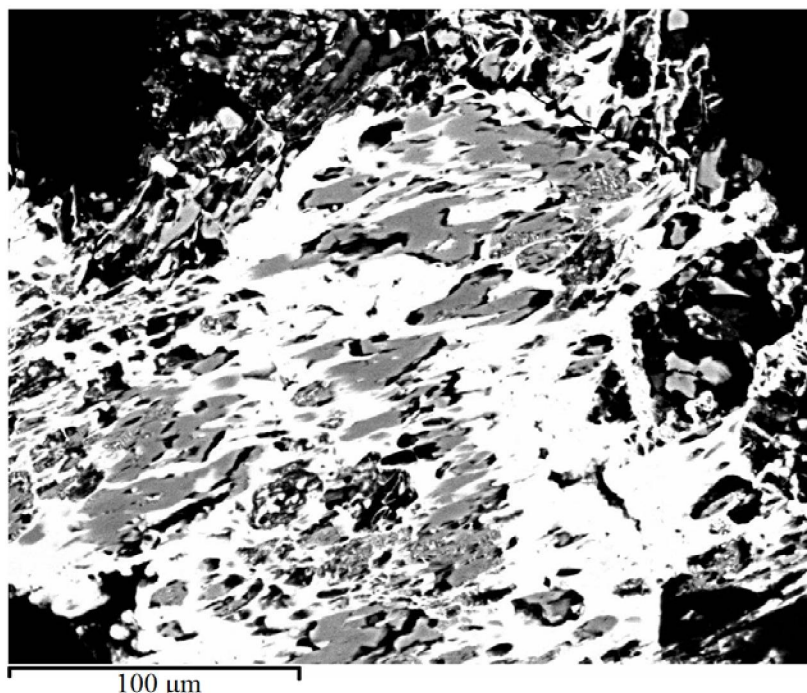


Рисунок 5 – Псевдоморфоза по нарсарсукиту: сростки анатаза (белое) и лоренценита (серое), поры (чёрное). ВЕИ

Figure 5 – Pseudomorph on narsarsukite: intergrowths of anatase (white) and lorenzenite (grey), pores (black). BEI

Таблица 5 – Химический состав лоренценита, мас. %

Table 5 – Chemical composition of lorenzenite, wt. %

Компоненты	1	2	3	4	5	Среднее
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,15	1,76	2,43	1,44	1,3	1,80
SiO <sub>2</sub>	34,67	34,33	34,35	36,20	35,16	34,54
TiO <sub>2</sub>	44,99	46,92	45,06	44,59	46,49	45,61
FeO	0,08	0,45	0,00	0,64	0,00	0,23
Na <sub>2</sub> O	18,04	18,18	17,60	17,42	18,20	17,89
Σ	99,93	101,64	99,44	100,29	101,15	100,49

1,0x15,0x100,0 мм, или сравнительно широкие и толстые пачки пластин, иногда собранные в лучистые агрегаты, образующие обильную вкрапленность в виде полос или линз. В кварце при этом часто наблюдаются многочисленные микроскопические включения пластиночек-иглочек астрофиллита. В метасоматических породах минерал чаще всего образует удлиненные пластинки до 0,5–1,0 см. Листочки и пачки листочков астрофиллита обычно измяты или разорваны [6].

Особенностью астрофиллита из месторождения при визуальном наблюдении является преимущественно темно-бурый до черного цвет в отличие от астрофиллита Кольского полуострова и других мест проявления минерала. Предполагается, что темный цвет обусловлен диффузно рассеянной наноразмерной вкрапленностью ниобофиллита. При вращении шлифов в оптическом микроскопе при параллельных николях наблюдается обратное астрофиллиту погасание, что характерно только для ниобофиллита. Сам астрофиллит в шлифах обычно от светлого до оранжевого цвета и темнеющая краевая каёмка ниобофиллитизации выявляется только при большом увеличении объектива.

Исследования показали: для образцов астрофиллита из разных участков месторождения характерна значительная изменчивость состава с постоянным присутствием примесей таких элементов,

как литий, рубидий, цезий, бериллий, цинк, цирконий, олово, свинец, магний, алюминий, ниобий, ванадий и др. Варьируются в количественном содержании: железо с марганцем, цинком, магнием, свинцом и литием; титан с ниобием, цирконием, оловом и ванадием; калий с натрием, кальцием, цезием и рубидием [6]. Химический состав образцов астрофиллита из разных пород различных частей месторождения показал чёткую зависимость от состава вмещающих пород. Собственно астрофиллит из щелочногранитных интрузий обычно характеризуется относительно низкими содержаниями кальция, магния, марганца, цинка, ниобия и др. А во вмещающих, обогащённых этими элементами, породах присутствует как собственно астрофиллит, содержащий эти элементы в существенно повышенных количествах, так и минералы группы астрофиллита, такие как куплетскит – марганцевый аналог и недавно открытый кальциевый аналог – тарбагатаит  $(K\Box)Ca(Fe^{2+},Mn)_7Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_5$ , утверждённый Комиссией по новым минералам, классификации и номенклатуре минералов Международной минералогической ассоциации (2010-048) [9].

Куплетскит  $K_2Na(Mn,Fe)_7Ti_2Si_8O_{24}(O,OH)F_7$  был выявлен на месторождении электронно-зондовым микроанализом (таблица 6) из пегматоидной кварцевой полевошпатовой жилы, удаленной от выходов щелочных гранитов на поверхность на расстоянии нескольких сотен метров. В месте взятия образцов жила пересекает одну из таких даек мощностью около 5 м. Края жилы сложены, в основном, тонкозернистой плотной калишпатовой породой с редкими вкраплениями лейст альбита, незначительного количества кварца и редких иголок эгирина. Ближе к центру она сменяется зоной средне- и крупнозернистых (от  $n$  до  $10n$  мм) перекристаллизованных калишпат-альбитовых с кварцем пород. Здесь присутствуют разнообразные редкометалльные и редкоземельные минералы: микроклин, альбит, кварц, эгирин, циркон, торит, ксенотим, фергусонит, ферсмит, эвксенит-(Y), ильменит, цинковый пирофанит, манганоколумбит, кейвиит, таленит-(Y), капелленит-(Y), эвдиалит, цзиньшацзянит, миларит, гелвин, берtrandит, бавенит и др. Минералы астрофиллитовой группы отмечаются по всей жиле, а в отдельных участках в виде шпир и полос мощностью до 10 см, образуя обильную вкрапленность (до 20 %). Особенностью минералов является повышенное содержание кальция и марганца, вплоть до выявления собственно куплетскита и кальциевых разновидностей куплетскита и астрофиллита.

Форма отдельных зерен минералов – удлиненные пластинки размером 2 x 3 до 10 x 0,1 мм. Размер агрегатных сростков до 15-20 мм (рисунок 6). Астрофиллит и куплетскит и их разновидности образуют совместную вкрапленность в виде полос, линз, зонков, узлов в краевых частях

Таблица 6 – Химический состав куплетскита (по 6 анализам), (мас.%)

Table 6 – Chemical composition of kupletskite (6 points), wt.%

Компоненты	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Стандартное отклонение
K <sub>2</sub> O	4,02	4,76	4,34	0,12
Na <sub>2</sub> O	2,28	3,14	2,74	0,15
CaO	0,49	1,06	0,80	0,10
Rb <sub>2</sub> O	1,30	2,02	1,60	0,12
Cs <sub>2</sub> O	0,73	1,29	1,07	0,09
MnO	22,52	23,51	22,95	0,14
FeO	9,29	10,76	10,15	0,29
MgO	1,67	2,19	1,87	0,09
ZnO	1,71	2,30	2,13	0,10
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,22	0,13	0,03
TiO <sub>2</sub>	9,89	10,74	10,45	0,14
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,39	1,36	0,94	0,18
SiO <sub>2</sub>	36,28	38,21	37,26	0,28
F	1,02	3,64	2,41	0,40
Σ	97,23	100,04	98,82	0,82



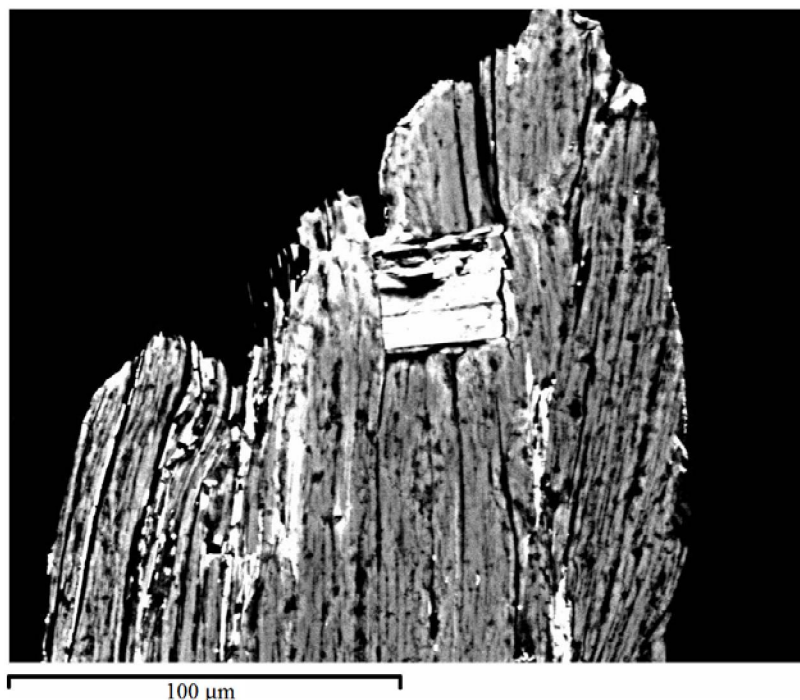
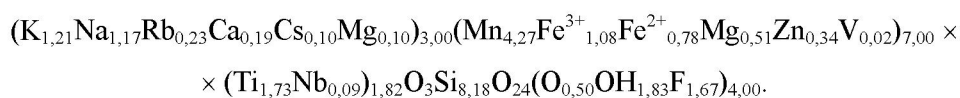


Рисунок 6 – Фрагмент зерна куплетскита (серое) с включением цзиньшацзянита (белое). Микротрещины заполнены ильменитом (белое). BEI

Figure 6 – Fragment of kupletskite grain (grey) with inclusion of jinshajiangite (white). Microcracks are filled with ilmenite (white). BEI

описываемой жилы. Иногда наряду с полисинтетическими переслаиваниями в этих же зернах они образуют отдельные неправильные, овальные выделения и участки с отчетливыми границами.

Усреднённая по 6 анализам эмпирическая формула куплетскита, рассчитанная на 10 атомов (Si+Ti+Nb), имеет вид:



Валентное состояние железа в куплетските было определено методом мессбауэровской спектроскопии.

Самостоятельные кристаллы *тарбагатаита* встречены не были. Листочки минерала постоянно находятся в тесном переслаивании с листочками и пачечками листочков астрофиллита [9]. Размеры агрегатных сростков минералов достигают до 10x3x0,2 мм. Толщина отдельных пачечек тарбагатаита редко превышает 0,03 мм. При визуальном просмотре шлифов, где сростки ориентированы поперек плоскости среза шлифа, наблюдается слабое различие в отражательной способности и в твердости полосок астрофиллита и тарбагатаита. Тарбагатаит менее твердый, чем астрофиллит, что выявляется рельефом полосок в полировке.

Цвет сростаний тарбагатаита с астрофиллитом коричневый, бледно-золотисто-коричневый. Тонкие чешуйки прозрачны. Визуальных различий между тарбагатаитом и астрофиллитом не наблюдается. Не флюоресцируют под катодными и ультрафиолетовыми лучами. Спайность весьма совершенная по плоскости (001), средняя по (010). Твердость по Моосу – 3, листочки гибкие. Плотность (расчётная) – 3,263 г/см<sup>3</sup>.

Упрощенная формула тарбагатаита, нового Ca- и Fe<sup>2+</sup>-доминантного вида астрофиллитовой группы:  $(\text{K}\square)\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_7\text{Ti}_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2\text{O}_2(\text{OH})_5$ , для члена конечного ряда:  $\text{CaFe}^{2+}_7\text{Ti}_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2\text{O}_2(\text{OH})_5$ . Кристаллическая структура минерала расшифрована в лаборатории университета Манитоба (Канада) [9].



Разнообразие и вариации в количественном отношении элементов-примесей минералов астрофиллитовой группы на месторождении обусловлены ионообменной способностью слоистых титаносиликатов и специфическими генетическими условиями.

Титаносиликаты: *бафертисит*, *камараит* и *цзиньшацзянит* – типоморфные минералы процессов фенитизации вмещающих пород Верхнеэспинского месторождения.

Бафертисит и цзиньшацзянит – первые находки в Казахстане [10]; камараит был открыт на месторождении и утверждён Комиссией по новым минералам, классификации и номенклатуре минералов Международной минералогической ассоциации (2009-11) [11]. Минералы отсутствуют в самих щелочных гранитах и их производных, в отличие от минералов группы астрофиллита, но нередко присутствуют в пегматоидных прожилках в экзоконтактовой зоне гранитов уже во вмещающих породах. По сравнению с астрофиллитом бариевые титаносиликаты имеют более постоянный химический состав. Отмечается незначительное число примесей цинка, ниобия, олова и др.

*Бафертисит*  $\text{Ba}_2\text{Ti}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_4(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2(\text{OH}, \text{F})_4$  на месторождении является довольно распространенным минералом в метасоматических породах экзоконтакта щелочных альбитизированных гранитов (фенитов), состоящих из альбита, микроклина, кварца, щелочных амфиболов, эгирина, астрофиллита, флюорита и др. [10]. Ни в гранитах, ни в пегматитах, ни в альбититах, образованных по гранитам, он не встречается. Минерал образует плоские призмы и пластинчатые метакристаллы оранжевого или буровато-красного цвета, размером до 20x5x3 мм. Железистые разности более темноокрашенные (бордовые, коричнево-бордовые), чем таковые с повышенным содержанием марганца. Имеет совершенную спайность по плоскости (001). В тонких сколах прозрачен. Твердость (в зависимости от химического состава) изменяется в пределах 4,5–4,8. Хрупок.

*Цзиньшацзянит*  $\text{Ba}_2\text{Na}_2\text{Ti}_4(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_8(\text{Si}_2\text{O}_7)_4\text{O}_4(\text{OH}, \text{F})_6$ , как и бафертисит, встречается в фенитизированных породах, только в значительно меньших количествах. Минерал находится в тех же ассоциациях, что и бафертисит. Размер пластинок прямоугольного облика редко превышает 2–3 x 1 x 0,2–0,5 мм. Цвет от бледно-желтого до бледно-оранжевого, реже красновато-оранжевый. Черта бледно-желтая. Минерал хрупкий. Твердость существенно ниже, чем у бафертисита и соответствует 4,0–4,5. Притягивается магнитом, как и бафертисит. Измеренная плотность 3,6 г/см<sup>3</sup> (ниже, чем у бафертисита), вычисленная – 3,819 г/см<sup>3</sup>. Spайность совершенная по плоскости (001). Отличия цзиньшацзянита от бафертисита заключаются в более светлой окраске (явно выявляется только в тонких кристаллах), в меньшей плотности и твердости, в отражательной способности, в показателях преломления. Минералы легко различаются в полированных препаратах, когда они находятся совместно. В химическом составе минерала присутствует больше щелочей и кальция по сравнению с бафертиситом, в котором они отсутствуют (или их содержание незначительное). Полное описание бафертисита и цзиньшацзянита приводится в статье [10].

*Камараит*  $\text{Ba}_3\text{NaTi}_4(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_8(\text{Si}_2\text{O}_7)_4\text{O}_4(\text{OH}, \text{F})_7$  был одновременно выявлен и затем совместно изучен двумя исследовательскими группами из ИГН им. К. И. Сатпаева (Казахстан) и университета Манитобы (Канада) [11].

Минерал найден на месторождении пока только в одном месте, где содержание его в фенитах соизмеримо с содержанием бафертисита. Встречается в фенитизированных туфосланцах нижнего каменноугольного возраста в виде одиночных плоских удлиненных кристалликов или их сростков, в том числе с такими минералами как цзиньшацзянит (рисунок 7), реже бафертисит. Плоские кристаллики камараита имеют совершенную спайность параллельно уплощению. Концы кристалликов по удлинению редко имеют хорошее кристаллографическое ограничение, а боковые грани всегда ровные гладкие и хорошо оформлены.

Ореол фенитизированных туфосланцев над плоской кровлей щелочных гранитов приблизительно 1–1,5 м. Состав фенитов в месте, где найден камараит, аналогичен составу щелочного сиенита. В нижележащей фации фенитов, аналогичной по составу уже щелочному граниту, ни бафертисит, ни камараит не встречены, в отличие от цзиньшацзянита, присутствующего в обеих фациях, но в очень малых количествах. Главными минералами в фенитах с камараитом, являются КПШ, альбит, эгирин, рибекит, иногда биотит, астрофиллит и др. Изредка встречаются сульфиды (пирит, арсенопирит, сфалерит), молибденит, галенит, а также гельвин, циркон, торит и др.

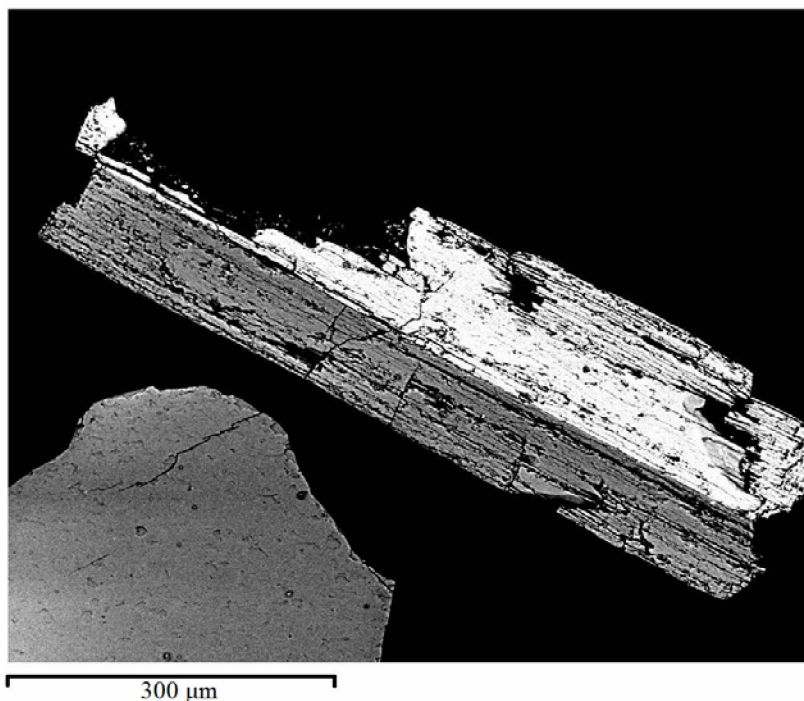


Рисунок 7 – Характер срастаний кристаллов камараита (белое) и цзиньшацзянита (серое). Поры (чёрное). BEI

Figure 7 – Intergrowth of flat crystals of camaraite (white) and jinshajiangite (grey). Pores (black). BEI

Цвет камараита от оранжево-красного до коричневатого-красного (светлее, чем бафертисит). Черта светло-желтая. Блеск стеклянный. Тонкие кристаллы прозрачные. Флюоресценция под катодными и ультрафиолетовыми лучами не наблюдается. Твердость меньше, чем у бафертисита (по шкале Мооса <5). Совершенная спайность по плоскости (001). Хрупкий. Плотность образцов камараита (срастание с минералами цзиньшацзянитом и бафертиситом), измеренная методом взвешивания в спирте и на воздухе в установке с использованием микроаналитических весов  $3,871 \text{ г/см}^3$ ; вычисленная –  $4,036 \text{ г/см}^3$  [11]. В породе бафертисит, цзиньшацзянит и камараит без опыта трудноразличимы. В случае их взаимного прорастания отличить минералы возможно только с помощью электрозондового микроанализа. По химическому составу камараит занимает промежуточное положение между бафертиситом и цзиньшаньцзянитом. В его составе содержание щелочных элементов, замещающих барий, значительно меньше (1:3), чем в цзиньшаньцзяните (1:1). Кристаллическая структура минерала была расшифрована Ф. Камара (Италия), Е. Соколовой (Канада) и Ф. Нието (Испания) [12].

В настоящее время уточняется химический состав одного из титановых минералов – *ифтисита и его оловянной разновидности*. Впервые минерал был найден на месторождении А. В. Степановым в 1960 г. В состав минерала входят иттрий, фтор (частично замещаемый ОН-группой), титан и кремний. Титан в составе этого минерала заимствуется за счёт образованного несколько ранее астрофиллита в процессе фторной агрессии.

В составе всех *минералов тирохлоровой группы*  $A_{2-x}B_2(O,OH,F)_7$  на месторождении присутствует титан (таблица 7). Минералы распространены в пегматоидных щелочных гранитах (рисунок 8) и, в собственно, пегматоидных жилах, в зонах альбитизации, в альбитизированных миароловых гранитах, а также в «меланолитах», не имеющие четких границ (своеобразные породы, возникшие в ослабленных зонах (узелках, линзах) альбитизированных щелочных гранитов, резко обогащенные темноцветными минералами) и в фенитизированных породах экзоконтактов [13].

Незначительное содержание титана ( $TiO_2$  до 3 мас.%) постоянно наблюдается в эгирине, касситерите, цирконе, ликите и открытом на месторождении флюороликите; в слюдах: биотите, литионите; в фергусоните и др. минералах.

Таблица 7 – Химический состав минералов пироклоровой группы, (мас. %)

Table 7 – Chemical composition of minerals of the pyrochlore group, wt. %

№ образца	1385, канава 15				39 [13]			
Место взятия	Пегматоидные граниты СВ части Малого выхода				Фениitized породы экзоконтакта 1 рудного тела			
Точки анализа	Различные точки кристалла				1 кристалл		2 кристалл	
Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					1,78	1,64	1,28	1,59
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	42,80	48,28	48,76	49,30	32,70	31,33	51,51	53,94
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,88	1,44	1,81	1,26	0,30	0,66	1,85	1,35
SiO <sub>2</sub>	2,80	1,14	0,62	1,16	7,43	7,78	0,32	0,70
TiO <sub>2</sub>	7,43	9,97	10,17	10,26	3,51	3,51	8,61	8,58
ThO <sub>2</sub>	0,00	0,35	0,54	0,75	0,41	0,29	0,99	1,14
UO <sub>2</sub>	5,37	5,78	4,65	4,24	4,81	4,84	3,81	3,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,37	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,94	0,00	0,00	0,00	2,53	2,67	1,03	1,38
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,23	0,05	0,11	0,17	1,79	1,55	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,83	2,81	2,53	2,41	0,00	0,00	2,55	2,08
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,03	7,78	8,16	7,44	1,04	1,41	5,87	6,01
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	0,59	0,49	0,86	0,00	0,00	0,01	0,07
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,23	2,03	1,73	2,51	0,00	0,00	1,47	0,87
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,28	0,16	0,36	0,00	0,00	0,68	0,32
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,09	0,00	0,00
ΣREE <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,50	13,54	13,18	13,75	3,45	3,05	10,69	9,75
CaO	0,23	3,68	3,75	3,79	1,96	1,96	1,66	2,04
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,63	1,88	1,82
PbO	20,58	0,00	0,00	0,00	29,87	29,58	6,93	4,73
F	0,00	1,63	2,52	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	90,53	85,81	86,00	86,90	90,07	88,31	90,56	90,79
Количество в формуле в расчёте на (Nb+Ta+Si+Ti+Al+Fe <sup>3+</sup> )=2 ат.								
P					0,10	0,10	0,07	0,08
Nb	1,34	1,41	1,43	1,42	1,02	1,00	1,44	1,42
Ta	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02
Si	0,19	0,07	0,04	0,07	0,51	0,54	0,02	0,04
Ti	0,39	0,49	0,50	0,49	0,18	0,18	0,40	0,32
Th		0,01	0,01	0,01	0,01		0,01	0,02
U	0,08	0,08	0,07	0,06	0,07	0,08	0,05	0,05
Al					0,05	0,03		
Fe <sup>3+</sup>	0,05				0,13	0,14	0,05	0,06
Y	0,01			0,01	0,07	0,06		
La	0,05	0,07	0,06	0,06			0,06	0,04
Ce	0,13	0,18	0,19	0,17	0,03	0,04	0,13	0,13
Pr	0,00	0,01	0,01	0,02				
Nd	0,03	0,05	0,04	0,06			0,03	0,02
Sm		0,01		0,01			0,01	0,01
Eu								0,01
Dy					0,01		0,01	
ΣREE	0,22	0,32	0,30	0,33	0,11	0,10	0,23	0,21
Ca	0,02	0,26	0,26	0,26	0,14	0,15	0,11	0,13
Zn					0,04	0,03	0,09	0,08
Pb	0,38				0,55	0,56	0,12	0,07
F	0,00	0,33	0,52	0,48				



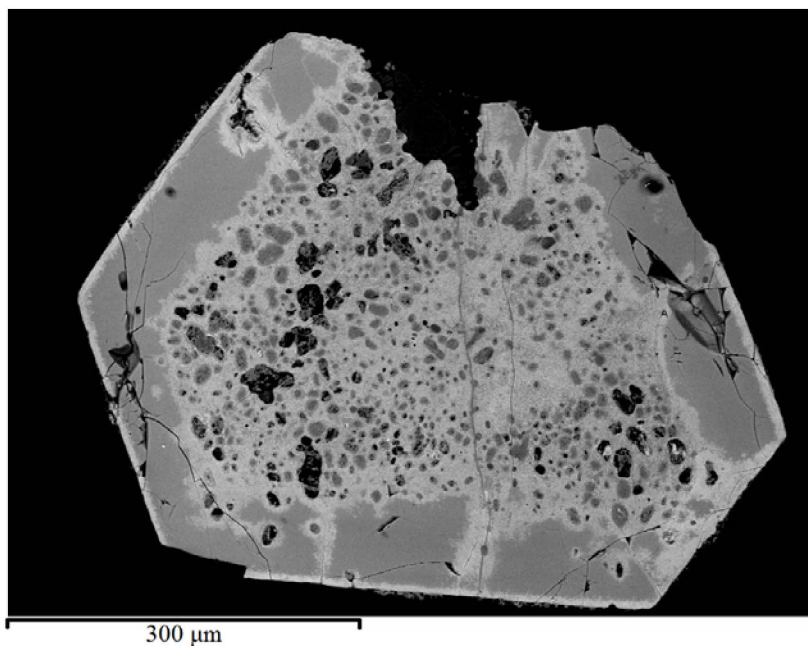


Рисунок 8 – Кристаллы пирохлора из пегматоидного гранита СВ части Малого выхода. Краевая каёмка и основная часть кристалла – пирохлор со значительным содержанием свинца (белое) (таблица 7, анализ 1), полоса – безсвинцовый пирохлор (серое) (таблица 7, анализы 2-4). Микровключения флюорита (чёрное). BEI

Figure 8 – Pyrochlore crystal from pegmatoid granite of NE part of Malyi stock.

Rim and central part of the crystal – pyrochlore with significant lead content (table 7, analysis 1) (white), strip – lead-free pyrochlore (table 7, analyses 2-4) (grey). Micro-inclusions are quartz (black), fluorite (dark grey). BEI

**Обсуждение.** Титановая минерализация Верхнеэспинского месторождения гетерогенна и гетерохронна. Разнообразие минеральных видов титана и их локализация на месторождении говорит, прежде всего, не столько о мобильном поведении элемента, сколько о сложности тектонической обстановки при быстроменяющихся процессах и их взаимных наложениях в момент активного минералообразования. Из рассмотренных минералов к ранним, образовавшимся в магматическом этапе, относятся собственно ильменит, колумбит, титанит и титансодержащие ниобаты: минералы пирохлоровой группы и фергусонит. Образование последних продолжается вплоть до фазы натриевого метасоматоза.

В промежуток между концом пегматитовой фазы и высокотемпературной стадии фазы калий-натриевого метасоматоза шло образование целого ряда титановых минералов нарсарсукита, минералов группы астрофиллита и бафертисита. Если образование рассеянной вкрапленности аксессуарий ильменита и колумбита происходило на магматическом этапе, то образование их цинковых и марганцевых разновидностей, как и манганоколумбита, попадает на этот промежуток. Вариации химического состава цинк-марганецсодержащих разновидностей ильменита вплоть до образования экандрюсита и пирофанита – доказательство воздействия активных компонентов флюидов интрузии на вмещающие породы и влияния контрастного состава вмещающих пород на новообразования прилегающей части интрузии с взаимопроникновением избыточных компонентов контактирующих сред. Особенно процесс биметасоматоза показателен на характере изменений химического состава минералов, обладающих ионообменными свойствами, среди которых магнетит, ильменит, циркон, титанит и натротитанит, амфиболы, пироксены и, особенно, микропористые титано- и ниобосиликаты, а также слоистые минералы группы бафертисита, астрофиллита и слюд [3, 19].

В первоначальные моменты активного воздействия на вмещающие породы метаморфизирующих флюидов, выделявшихся из внедрившейся магмы щелочных гранитов, образуются метаморфические породы несколько пересыщенные щелочами и отвечающие, приблизительно по химизму, щелочным сиенитам. Исходный минерал нарсарсукит образуется в момент окончания щелочного и



наступления кремнекислотного пересыщения. Образующие в этот период породы приближаются по составу уже к щелочным гранитам, постепенно заменяя первые. А со сменой щелочного и щелочнокремниевое кислотным насыщением нарсарсукиит разлагается чаще всего с переносом всех элементов, кроме титана, остающегося в объеме «бывших» кристаллов в форме разнообразных титановых и титансодержащих минералов: рутила, анатаза, ильменорутила, ильменита, лоренценита, нептунита, натротитанита, минералов группы астрофиллита (куплетскита, тарбагатаита) и др. в виде «каркаса», отдельных зёрен или сростков зёрен. Остальное пространство кристаллов заполнено разнообразными комбинациями порообразующих минералов (кварц, полевые шпаты, амфиболы и редко даже сульфиды). Заполнение псевдоморфоз по нарсарсукииту разнообразное и варьирует от места к месту довольно в широких пределах.

Двухфазное строение кристаллов натрийсодержащего титанита, выявленное при изучении химического состава минералов, образующихся по нарсарсукииту, можно объяснить пульсационным поступлением метаморфизирующих растворов, как из самой активной интрузии, так и из метаморфизируемых вмещающих пород. На первом этапе воздействия метаморфизирующих растворов на вмещающие породы, когда температура и давление (атмосферное и осмотическое активных подвижных элементов: лития, натрия, калия, хлора, фтора,  $\text{CO}_2$ , кремнекислоты и др.) возрастают, происходит перекристаллизация одних минералов на другие, устойчивые при возникших условиях в частях системы. Относительно быстрое изменение термодинамических условий влечёт за собой смену неустойчивых минеральных ассоциаций по объёму метаморфизируемых частей пространства. Когда поступление кальция, натрия и иттрия из растворов было относительно равномерным, стала возможной кристаллизация титанита относительно бедного натрием и иттрием (плюс РЗЭ). Зональный рост кристаллов, свидетельствует об относительно «спокойном» периоде кристаллизации. С падением внутреннего (со стороны активной интрузии) и внешнего (со стороны вмещающих пород) давления уменьшается поступление в раствор кальция, что приводит к пересыщению в нем натрия и иттрия. Этим и объясняется, по-видимому, развитие более позднего натроиттрового титанита по краям и трещинам кристаллов. Основным источником кальция, очевидно, служили богатые этим и др. элементами породы габбро-диориты, диабазовые порфириды и лампрофировые породы, образующие вблизи проявлений титанита сравнительно частые жильные интрузии, пересекающие толщу нижнекаменноугольных туфоалевролитов в различных направлениях. Усиление натроиттровой доли в натротитаните целиком обязано поступлению из внутреннего источника – активной интрузии [7].

По совместному нахождению минералов групп бафертисита и астрофиллита можно судить об одновременном их образовании в высокотемпературную стадию калий-натриевого и натриевого метасоматоза.

Объяснение всем особенностям титановых и титансодержащих минералов Верхнеэспинского месторождения хорошо дано в диссертации И. В. Пекова «Генетическая минералогия и кристаллохимия редких элементов в высокощелочных постмагматических системах», в которой указано, что важнейшими и типоморфными компонентами высокощелочных образований выступают минералы с низкоплотными структурами (микропористые): ... Zr-, Ti- и Nb-силикаты с гетерополиэдрическими каркасами, гетерофиллосиликаты, фосфаты, оксиды и щелочные сульфиды [19].

Вариации состава изученных минералов, как с плотными структурами: ильменит, колумбит, так и с микропористыми структурами: минералы группы пирохлора, бафертисита, астрофиллита и др. от зерна к зерну, в пределах одного зерна; обогащение вдоль трещин, зон роста в зёрнах фазами с тяжелыми катионами говорит о широком развитии ионообменных процессов в щелочных пегматитово-гидротермальных системах, имевших место на месторождении в период активных фаз минералообразования, в которых титан проявляет себя, как относительно активный элемент.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 0302/ГФ4 «Создание базы данных по уникальным, редким и недостаточно изученным минералам месторождений благородных и редких элементов Казахстана для комплексного освоения минерального сырья» КН МОН РК.*

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Belov, V.A., Ermolov, P.V. The Verkhnee Espe RM Deposit in East Kazakhstan. In: Shatov (Ed.). Granite-related ore deposits of Central Kazakhstan and adjacent areas. – Glagol, St Petersburg, 1996. P. 219-228.

[2] Степанов А.В., Бекенова Г.К. Краткая характеристика Верхнеэспинского месторождения редких элементов // Мат-лы конференции «Геология, минерагения и перспективы развития мин.-сырьевых ресурсов» (Сатпаевские чтения). – 2009. – С. 248-258.

[3] Степанов А.В., Бекенова Г.К., Добровольская Е.А., Левин В.Л., Котельников П.Е. О процессе фенитизации в связи с малыми интрузиями щелочных гранитов на примере Верхнеэспинского редкометалльного месторождения (Восточный Казахстан) // Мат-лы конференции «Сатпаевские чтения»: «Геология в 21 веке». – Алматы, 2011. – С. 302-309.

[4] Baisalova A., Stepanov A., Bekenova G., Dolgoplova A. and Seltmann R. Titanium silicates from the Verkhnee Espe rare metal deposit in East Kazakhstan // Programme and Abstracts. 39<sup>th</sup> Winter Meeting. – Dublin, 2016. – P. 16.

[5] Бекенова Г.К., Степанов А.В., Левин В.Л., Байсалова А.О., Тлегинова Д.М. Онтогенетический подход в генетическом моделировании Верхнеэспинского месторождения редких элементов (Восточный Казахстан) // Конференция «Онтогенез, филогения и система минералогии». – Миасс, 2015. – С. 68-76.

[6] Степанов А.В., Котельников П.Е., Добровольская Е.А., Кенишбаева А.Г. Вариации химического состава астрофиллита из щелочных гранитов северных отрогов Тарбагатай // Мат-лы конференции «Сатпаевские чтения»: «Актуальные проблемы наук о Земле». – Алматы, 2008. – С. 129-137.

[7] Stepanov A.V., Bekenova G.K., Levin V.L., Hawthorne F.C. Natrotitanite, ideally  $(\text{Na}_{0.5}\text{Y}_{0.5})\text{Ti}(\text{SiO}_4)\text{O}$ , a new mineral from the Verkhnee Espe deposit, Akjailyautas mountains, Eastern Kazakhstan district, Kazakhstan: description and crystal structure // Mineralogical Magazine. – 2012. – Vol. 76(1). – P. 37-44.

[8] Степанов А.В., Жексембекова Д.Б., Байсалова А.О., Левин В.Л., Бекенова Г.К. Нарсарсукуит из Верхнеэспинского месторождения // Мат-лы междунар. конф., посвящ. 70-летию Института геологии НАН КР «Геодинамика, оруденение и геоэкологические проблемы Тянь-Шаня». – Бишкек, 2013. – С. 217-222.

[9] Stepanov A.V., Bekenova G.K., Levin V.L., Hawthorne F.C., Dobrovolskaya E.A. Tarbagataite,  $(\text{K}\square)\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_7\text{Ti}_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2\text{O}_2(\text{OH})_5$ , a new astrophyllite group mineral species from the Verkhnee Espe deposit, Akjailyautas Mountains, Kazakhstan: description and crystal structure // Canadian Mineralogist. – 2012. – Vol. 50. – P. 159-168.

[10] Степанов А.В., Бекенова Г.К., Котельников П.Е., Дюсембаева К.Ш., Добровольская Е.А. Первая находка в Казахстане бафертисита и цзиньшаньцянита // Известия НАН РК. Сер. геологическая. – 2008. – № 5. – С. 27-37

[11] Sokolova E., Abdu Y., Hawthorne F.C., Stepanov A.V., Bekenova G.K., Kotelnikov P.E. Camaraite,  $\text{Ba}_3\text{NaTi}_4(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_8(\text{Si}_2\text{O}_7)_4\text{O}_4(\text{OH}, \text{F})_7$ , 1. A new Ti-silicate mineral from the Verkhnee Espe Deposit, Akjailyautas Mountains, Kazakhstan // Mineralogical Magazine. – October 2009. – Vol. 73(5). – P. 521-528.

[12] Sokolova E., Camara F., Hawthorne F.C., Abdu Y. From structure topology to chemical composition. VII. Titanium silicates: the crystal structure and crystal chemistry of jinshajiangite // European Journal of Mineralogy. – 2009. – 21. – P. 871-883.

[13] Степанов А.В., Токпилюкова Ж., Тлегинова Д.М., Котельников П.Е., Бекенова Г.К. Минералы пироксеновой группы из Верхнеэспинского месторождения (церропироксенол, высокофтористый церропироксенол, урансодержащий пероипироксенол, урансодержащий пломбопироксенол) // Мат-лы междунар. конф., посвящ. 70-летию Института геологии НАН КР «Геодинамика, оруденение и геоэкологические проблемы Тянь-Шаня». – Бишкек, 2014. – С. 211-216.

[14] Владыкин Н.В., Коваленко В.И., Дорфман М.Д. Минералогические и геохимические особенности Хан-Богдинского массива щелочных гранитов. – Изд. «Наука», 1981. – 136 с.

[15] Архангельская В.В., Казанский В.И., Прохоров К.В., Собаченко В.Н. Геологическое строение, зональность и условия образования Катугинского Та-Nb-Zr-месторождения (Чаро-Удоканский район, Восточная Сибирь) // Геология рудных месторождений. – 1993. – Т. 35, № 2. – С. 2-132.

[16] Alexander P. Gysi, Anthony E. Williams-Jones, and Patrick Collins Lithochemical Vectors for Hydrothermal Processes in the Strange Lake Peralkaline Granitic REE-Zr-Nb Deposit // Economic Geology. – 2016. – Vol. 11. – P. 1241-1276.

[17] Соколов Г.А., Павлов Д.И. К геохимии титана в метасоматическом процессе // ДАН СССР. – 1962. – Т. 142, № 2. – С. 445-448.

[18] Mikhailova J.A., Pakhomovsky Ya.A., Ivanyuk G.Yu., Bazai A.V., Yakovenchuk V.N., Elizarova I.R., Kalashnikov A.O. REE mineralogy and geochemistry of the Western Keivy peralkaline granite massif, Kola Peninsula, Russia // Ore Geology Reviews. – 2017(82). – P. 181-197.

[19] Пеков И.В. Генетическая минералогия и кристаллохимия редких элементов в высокощелочных постмагматических системах: Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. – М.: МГУ, 2005. – 652 с.

## REFERENCES

[1] Belov V.A., Ermolov P.V. The Verkhnee Espe RM Deposit in East Kazakhstan. In: Shatov (Ed.). Granite-related ore deposits of Central Kazakhstan and adjacent areas. Glagol, St Petersburg, 1996. P. 219-228.

[2] Stepanov A.V., Bekenova G.K. Kratkaya harakteristika Verkhneehspinskogo mestorozhdeniya redkih ehlementov // Mat-ly konferencii «Geologiya, minerageniya i perspektivy razvitiya min.-syrevyh resursov» (Satpaevskie chteniya). 2009. P. 248-258.

[3] Stepanov A.V., Bekenova G.K., Dobrovolskaya E.A., Levin V.L., Kotelnikov P.E. O processe fenitizacii v svyazi s malymi intruziyami shchelochnyh granitov na primere Verkhneehspinskogo redkometal'nogo mestorozhdeniya (Vostochnyj Kazahstan) // Mat-ly konferencii «Satpaevskie chteniya»: «Geologiya v 21 veke». Almaty, 2011. P. 302-309.

[4] Baisalova A., Stepanov A., Bekenova G., Dolgoplova A. and Seltmann R. Titanium silicates from the Verkhnee Espe rare metal deposit in East Kazakhstan // Programme and Abstracts. 39<sup>th</sup> Winter Meeting. Dublin, 2016. P. 16.

[5] Bekenova G.K., Stepanov A.V., Levin V.L., Baisalova A.O., Tlegenova D.M. Ontogenicheskij podhod v geneticheskom modelirovanii Verkhneehspinskogo mestorozhdeniya redkih ehlementov (Vostochnyj Kazahstan) // Konferenciya «Ontogeniya, filogeniya i sistema mineralogii». Miass, 2015. P. 68-76.

[6] Stepanov A.V., Kotelnikov P.E., Dobrovolskaya E.A., Kenishbaeva A.G. Variacii Himicheskogo sostava astrofillita iz shchelochnyh granitov severnyh otrogov Tarbagataya // Mat-ly konfer. «Satpaevskie chteniya»: «Aktual'nye problemy nauk o Zemle». Almaty, 2008. P. 129-137.

- [7] Stepanov A.V., Bekenova G.K., Levin V.L., Hawthorne F.C. Natrotitanite, ideally  $(\text{Na}_{0.5}\text{Y}_{0.5})\text{Ti}(\text{SiO}_4)\text{O}$ , a new mineral from the Verkhnee Espe deposit, Akjailyautas mountains, Eastern Kazakhstan district, Kazakhstan: description and crystal structure // *Mineralogical Magazine*. 2012. Vol. 76(1). P. 37-44.
- [8] Stepanov A.V., Zheksembekova D.B., Bajsalova A.O., Levin V.L., Bekenova G.K. Narsarsukit iz Verhneehspinskogo mestorozhdeniya // *Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 70-letiyu Instituta geologii NAN KR «Geodinamika, orudnenie i geoekologicheskie problemy Tyan'-SHanya»*. Bishkek, 2013. P. 217-222.
- [9] Stepanov A.V., Bekenova G.K., Levin V.L., Hawthorne F.C., Dobrovolskaya E.A. Tarbagataite,  $(\text{K}\square)\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_7\text{Ti}_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})_2\text{O}_2(\text{OH})_5$ , a new astrophyllite group mineral species from the Verkhnee Espe deposit, Akjailyautas Mountains, Kazakhstan: description and crystal structure // *Canadian Mineralogist*. 2012. Vol. 50. P. 159-168.
- [10] Stepanov A.V., Bekenova G.K., Kotelnikov P.E., Djusembaeva K.Sh., Dobrovolskaja E.A. Pervaja nahodka v Kazahstane bafertisita i czin'shaczjanita // *Izvestija NAN RK. Ser. geologicheskaja*. 2008. N 5. P. 27-37.
- [11] Sokolova E., Abdu Y., Hawthorne F.C., Stepanov A.V., Bekenova G.K., Kotelnikov P.E. Camaraite,  $\text{Ba}_3\text{NaTi}_4(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_8(\text{Si}_2\text{O}_7)_4\text{O}_4(\text{OH}, \text{F})_7$ , 1. A new Ti-silicate mineral from the Verkhnee Espe Deposit, Akjailyautas Mountains, Kazakhstan // *Mineralogical Magazine*. October 2009. Vol. 73(5). P. 521-528.
- [12] Sokolova E., Camara F., Hawthorne F.C., Abdu Y. From structure topology to chemical composition. VII. Titanium silicates: the crystal structure and crystal chemistry of jinshajiangite // *European Journal of Mineralogy*. 2009. 21. P. 871-883.
- [13] Stepanov A.V., Tokshilykova ZH., Tlegenova D.M., Kotelnikov P.E., Bekenova G.K. Mineraly pirohlorovoj grupy iz Verhneehspinskogo mestorozhdeniya (ceriopirohlor, vysokofloristyj ceriopirohlor, uransoderzhashchij ceriopirohlor, uransoderzhashchij plyumbopirohlor) // *Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 70-letiyu Instituta geologii NAN KR «Geodinamika, orudnenie i geoekologicheskie problemy Tyan'-SHanya»*. Bishkek, 2014. P. 211-216.
- [14] Vladykin N.V., Kovalenko V.I., Dorfman M.D. Mineralogicheskie i geohimicheskie osobennosti Han-Bogdinskogo massiva shchelochnyh granitov. *Izd. «Nauka»*, 1981. 136 p.
- [15] Arhangel'skaya V.V., Kazanskij V.I., Prohorov K.V., Sobachenko V.N. Geologicheskoe stroenie, zonal'nost' i usloviya obrazovaniya Katuginskogo Ta-Nb-Zr-mestorozhdeniya (CHaro-Udokanskij rajon, Vostochnaya Sibir') // *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*. 1993. Vol. 35, N 2. P. 2-132.
- [16] Alexander P. Gysi, Anthony E. Williams-Jones, and Patrick Collins Lithochemical Vectors for Hydrothermal Processes in the Strange Lake Peralkaline Granitic REE-Zr-Nb Deposit // *Economic Geology*. 2016. Vol. 11. P. 1241-1276.
- [17] Sokolov G.A., Pavlov D.I. K geohimii titana v metasomaticheskome processe // *DAN SSSR*. 1962. Vol. 142, N 2. P. 445-448.
- [18] Mikhailova J.A., Pakhomovsky Ya.A., Ivanyuk G.Yu., Bazai A.V., Yakovenchuk V.N., Elizarova I.R., Kalashnikov A.O. REE mineralogy and geochemistry of the Western Keivy peralkaline granite massif, Kola Peninsula, Russia // *Ore Geology Reviews*. 2017(82). P. 181-197.
- [19] Pekov I.V. Geneticheskaya mineralogiya i kristallohimiya redkih ehlementov v vysokoshchelochnyh postmagmaticheskikh sistemah: Avtoref. dis. ... dokt. geol.-miner. nauk. M.: MGU, 2005. 652 p.

Г. К. Бекенова<sup>1</sup>, А. В. Степанов<sup>1</sup>, А. В. Долгополова<sup>2</sup>, R. Seltmann<sup>2</sup>, А. О. Байсалова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Қ. И. Сәтбаев атындағы Геология ғылымдары институты, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Жаратылыстану Тарихи Мұражайы, Лондон, Великобритания

#### ЖОҒАРҒЫ ЕСПЕ СИРЕКМЕТАЛДЫ КЕНОРНЫНДАҒЫ ТИТАНҚҰРАМДЫ МИНЕРАЛДАРДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ (ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН)

**Аннотация.** Мақалада кенденудің магмалық және постмагмалық кезеңдерінде қалыптасқан титан минералдануы қарастырылған. Рутил, анатаз, ильменит және оның түрлестері: пиррофанит және экандрусит; колумбит және оның түрлестері; титанды силикаттардан: нарсарсукит, лоренценит, нептунит, натротитанит, астрофиллит тобының минералдары және бафертисит, сонымен бірге титанқұрамды минералдар тобынан пирохлор мен фергусонит минералдарының кездесу пішіндері, физикалық құрылысы және минералдардың химиялық құрамы сипатталған. Минералдардың калий-натрийлі және натрийлі жоғарғы температуралы метасоматоз кезеңінде жаралуы титанның салыстырмалы белсенді элемент екендігін танытады.

**Түйін сөздер:** физическалық құрылысы, химиялық құрамы, титанқұрамынды минералдар, сілтілі метасоматоз, Жоғарғыеспе кенорны.