

УДК 549.657

А.В. СТЕПАНОВ¹, Г.К. БЕКЕНОВА², П.Е. КОТЕЛЬНИКОВ³,
К.Ш. ДЮСЕМБАЕВА⁴, Е.А. ДОБРОВОЛЬСКАЯ⁵ПЕРВАЯ НАХОДКА В КАЗАХСТАНЕ
БАФЕРТИСИТА И ЦЗИНЬШАЦЗЯНИТА

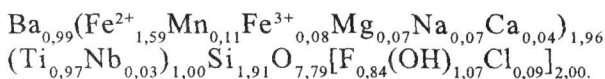
Қазақстанда тұңғыш табылған заттардың бафертисит пен цзиньшоцзяниттің сипаттамасы (физикалық қасиеттері, химиялық құрамы, құрылымдық ерекшеліктері, жоғарыесе кенорындарындағы пайда болу жағдайы мен оқшаулануы) келтірілген.

Приведено описание первых находок в Казахстане бафертисита и цзиньшацзянита (физические свойства, химический состав, структурные данные, условия образования и локализации в Верхнеэспинском месторождении).

The descriptions of the first findings in Kazakhstan bafertisite and jinshajiangite are given. Physical properties, chemical composition, syngony, unit cell parameters, genesis conditions and location in Verkhneasp deposit of the minerals are presented.

Бафертисит, благодаря контрастной оранжево-красной до бордово-коричневой окраске и крупности метакристаллов, был замечен сразу после открытия Верхнеэспинского месторождения в 1956 г. По своим морфологическим признакам (спайность по плоскости (001) совершенная), физическим свойствам (поведение при нагревании), химизму (титаносиликат) минерал напоминает астрофиллит, за что и был условно назван «бариевым астрофиллитом». Серьезные исследования начались тогда, когда появилась первая информация о бафертисите (назван по химическому составу) – новом минерале из месторождения Байюнь-Обо (КНР) [1]. Исследователи отмечали широкое распространение минерала на месторождении. Характерный габитус – игольчатые и пластинчатые кристаллы и сферолиты диаметром до 2 см. Кристаллы уплощены по (001), несколько вытянуты вдоль оси *a*. Двойники по (001). Спайность по плоскости (001) совершенная, по (010) – менее отчетливая. Твердость 4,5-5,0. Микротвердость 406 кГ/мм². Плотность 3,96-4,35 г/см³ (вычисленная 4,03 и 4,27 г/см³) [1-3]. Цвет минерала ярко-красный, буровато-желтовато-красный. Плеохроизм: по N_p – буровато-красный; по N_m – желтый; по N_g – зеленовато-желтый. Двуосный (-). Показатели преломления: N_g 1,862; N_m 1,835; N_p 1,805; $N_g - N_p = 0,057$; $2V =$

86° [2]. Химический состав (мас.%): SiO₂ 23,68; TiO₂ 15,39; Al₂O₃ 0,29; Nb₂O₅ 0,84; Fe₂O₃ 1,08; FeO 22,56; MnO 1,62; MgO 0,50; BaO 29,98; CaO 0,37; Na₂O 0,49; K₂O 0,12; H₂O⁺ 1,86; F 3,14; Cl 0,63; Σ 101,55 [1]. Эмпирическая формула бафертисита из Байюнь-Обо, уточненная в работе [3], имеет вид:



Основной кристаллической структуры минерала являются трехслойные (TOT)-пакеты [4]. Внутренний O-слой, состоящий из связанных друг с другом ребрами (Fe, Mn)-октаэдров, заключен между гетерогенными T-слоями, в которых Ti-октаэдры соединены с парой SiO₄-тетраэдров (диортогруппы Si₂O₇), с соотношением Ti/Si=1/2. Каждый восьмой атом O химической формулы не участвует в кремнекислородном радикале, играя роль аналогичную OH. Находящиеся на вершинах октаэдров T-слоя атомы Ba и анионы O(OH) располагаются в межслоевом промежутке. Параметры элементарной ячейки: *a* 10,60; *b* 13,64; *c* 12,47 Å; β 119,5°. Z=8. Пространственная группа: *Cm* [4, 5]. Сравнительный анализ химического состава и рентгенограмм бафертисита из Китая и «бариевого астрофиллита» Верхнеэспинского месторождения, проведенный в 1972 г., показал их идентичность [3].

¹⁻³ Казахстан, 050010, Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69, Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева

⁴ Казахстан, 050040, Алматы, ул. Сатпаева, 22, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева

⁵ Казахстан, 050000, Алматы, ул. Толе би, 59, Казахстанско-Британский технический университет

В 1982 г. была опубликована информация о новом минерале цзиньшацзяните (назван по месту находки р. Цзиньшацзян), найденном в провинции Сычуань, в Китае [6]. Пластинчатые кристаллы размером от 20x2 до 10x1 мм встречены в щелочных сиенитах. Минерал ассоциирует с альбитом, арфведсонитом, эгирином, пироксеном, монацитом и чевкинитом. Цвет черновато-красный, коричневатокрасный, золотистокрасный. Блеск стеклянный. Черта светло-желтая. Спайность {010} и {100} совершенная. Твердость по Виккерсу 430 кг/мм². Плотность измеренная 3,61 г/см³, вычисленная – 3,56 г/см³. Двусный (+). Показатели преломления: N_g 1,852; N_m 1,802; N_p 1,729; $2V=72^\circ$, дисперсия $r < v$. Плеохроизм: по X – светло-золотистожелтый; по Y – коричневатожелтый; по Z – коричневатокрасный. Химический состав (мас.%) минерала: SiO₂ 27,10; TiO₂ 15,90; (Zr,Hf)O₂ 0,70; Al₂O₃ 0,36; Nb₂O₅ 1,05; Ta₂O₅ 0,07; Fe₂O₃ 1,64; FeO 19,07; MnO 12,93; MgO 0,28; SrO 0,08; BaO 9,80; CaO 2,94; Na₂O 3,15; K₂O 2,31; P₂O₅ 0,30; H₂O⁺ 0,33; H₂O⁻ 0,36; F 2,66; Σ 99,89.

Первоначально исследователями была предложена кристаллохимическая формула цзиньшацзянита: (Na,K)₅(Ba,Ca)₄(Fe²⁺,Mn)₁₅(Ti,Fe³⁺,Nb,Zr)₈Si₁₅O₆₄(F,OH)₆.

Параметры элементарной ячейки: a 10,73; b 13,84; c 20,817 Å; β 95,05°. $Z=2$. Пространственная группа: $C2/m$, Cm , $C2$ [6].

Минерал внешне сильно похож на бафертисит, из-за чего на Верхнеэспинском месторождении на него долгое время не обращали внимания.

В настоящее время появилась возможность полнее исследовать бафертисит и цзиньшацзянит Верхнеэспинского месторождения с широким применением комплекса дифракционных методов и электроннозондового микроанализа. Результаты изучения показали, что образцы этих минералов из различных мест месторождения отличаются по составу, как по содержанию главных компонентов (железо, марганец, фтор, OH), так и второстепенных (цинк, олово, ниобий, свинец).

Краткая геологическая обстановка Верхнеэспинского месторождения

Верхнеэспинское месторождение пространственно и генетически связано с двумя небольшими овальными в плане выходами щелочных гранитов (Большой и Малый), находящимися не-

далеко друг от друга в северном экзоконтакте крупного Акжайлюгасского гранитного массива (северные отроги Тарбагатай). Обе малые интрузии щелочных гранитов располагаются в поясе даек щелочно-гранитных пород, простирающихся в северо-северо-восточном направлении от выходов на 5 км, а в юго-юго-западном направлении вдоль западного экзо- и эндоконтакта более, чем на 20 км. О связи дайковых щелочных гранит-порфиров с Верхнеэспинскими выходами свидетельствует не только локализация последних в пределах пояса даек, но и непосредственное ответвление от северной части Большого выхода апофиз, продолжающихся к северо-северо-востоку за разломом северо-западного простираения в виде серии даек щелочных гранит-порфиров, аналогичных таковым развитым с южной стороны.

Описание бафертисита Ba(Fe,Mn)₂TiO(Si₂O₇)(F,OH)₂

Бафертисит 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. Ни в гранитах, ни в пегматитах, ни в альбититах, образованных по гранитам, он не встречается.

Минерал образует плоские призмы и пластинчатые метакристаллы оранжевого или буроватокрасного цвета, размером до 20x5x3 мм. Железистые разновидности более темноокрашенные (бордовые, коричнево-бордовые), чем таковые с повышенным содержанием марганца. Имеет совершенную спайность по плоскости (001). В тонких сколах прозрачен. Черта – желтовато-оранжевая. Твердость (в зависимости от химического состава) изменяется в пределах 4,5-4,8 [3]. Хрупок. Притягивается электромагнитом, как астрофиллит или рибекит. В катодных и ультрафиолетовых лучах не светится. В соляной кислоте растворяется несколько медленней, чем астрофиллит, оставляя желтовато-белый скелет, сохраняющий форму пластинок. В пламени сравнительно легко сплавляется в черный магнитный шарик. Измеренная плотность 4,17 г/см³ [3], вычисленная плотность для разновидности с повышенным содержанием марганца – 4,395 г/см³.

Таблица 1. Химический состав (мас.%) бафертисита (обр. 368. Останец фенитизированной кровли в пределах Малого выхода)

| № | O | Ba | K | Ca | Na | Fe | Mn | Ti | Nb | Si | H | Σ |
|---|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|--------|
| 1 | 31,62 | 26,89 | 0,08 | 0,04 | 0,00 | 15,06 | 5,56 | 8,69 | 0,79 | 10,70 | | 99,43 |
| 2 | 33,04 | 26,07 | 0,13 | 0,05 | 0,00 | 14,99 | 5,56 | 9,12 | 0,95 | 10,80 | | 100,72 |
| 3 | 28,97 | 27,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 16,85 | 5,53 | 9,63 | 0,00 | 11,30 | 0,10 | 100,00 |
| 4 | 31,45 | 26,66 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 21,68 | 0,00 | 9,30 | 0,00 | 10,91 | | 100,00 |

Примечание: анализ 3 [7], анализ 4 – теоретический состав с идеальной формулой: $BaFe_2TiO[Si_2O_7](OH)_2$.

Таблица 2. Химический состав (мас.%) бафертисита с повышенным содержанием марганца Верхнеэспинского месторождения (образец к востоку от Малого выхода) (по 4 точкам) и щелочного массива Бурпала

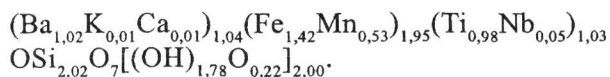
| Элемент | Бафертисит Верхнеэспинского месторождения | | | | Бафертисит Бурпалы [8] |
|---------|---|-----------------------|------------------|------------------------|--|
| | Минимальное значение | Максимальное значение | Среднее значение | Стандартное отклонение | |
| O | 32,10 | 33,41 | 32,65 | 0,32 | |
| Ba | 25,69 | 26,36 | 26,03 | 0,15 | 23,82 |
| K | 0,00 | 0,33 | 0,08 | 0,09 | 0,27 |
| Ca | 0,00 | 0,08 | 0,05 | 0,02 | 0,21 |
| Na | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,28 |
| Fe | 11,62 | 12,12 | 11,89 | 0,12 | Fe ³⁺ 2,57 Fe ²⁺ 8,41 |
| Mn | 8,00 | 8,28 | 8,14 | 0,08 | 9,89 |
| Zn | 0,50 | 0,68 | 0,60 | 0,05 | 0,00 |
| Ti | 7,91 | 8,26 | 8,14 | 0,08 | 8,55 |
| Nb | 0,48 | 1,20 | 0,72 | 0,18 | 0,22 |
| Sn | 0,50 | 0,83 | 0,62 | 0,09 | 0,00 |
| Si | 10,62 | 10,80 | 10,69 | 0,05 | 11,77 |
| F | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,50 |
| Σ | 98,49 | 101,48 | 99,58 | | |

В шлифах и иммерсионных препаратах трудно отличим от астрофиллита. Цвет оранжево-красный до бордово-коричневого. Отчетливо плеохроирует по N_g – золотисто-оранжевый, зелено-желтый; по N_p – оранжево-красный, красновато-бурый; по N_m – желтый. Погасание по отношению к спайности и удлинению до 45°. Показатели преломления: N_g 1,862; N_m 1,835; N_p 1,805; $N_g - N_p$ 0,057. Цвета интерференции 4-го порядка. Двусный (-) [3].

Определение химического состава образцов бафертисита проведено с помощью электронно-зондового микроанализатора JСХА 733 с применением энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY при ускоряющем напряжении 15 кВ, токе зонда 25 нА и сфокусированном (диаметр 1-2 мкм) зонде. В качестве образцов сравнения использованы: CaF_2 (F); 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, Sn, Nb (Zn, Sn, Nb); $BaSO_4$ (Ba), $x(PO_4)$

($x - PЗЭ$). Были проанализированы пластинчатые метакристаллы, расположенные совершенной плоскостью спайности (001) параллельно и перпендикулярно поверхности аншлифа. Результаты анализов приведены в табл. 1–3 на рис. 1.

Усредненная (по двум анализам 1-2) эмпирическая формула бафертисита, рассчитанная на 5 атомов (Fe+Mn+Ti+Nb+Si), имеет вид:



Кристаллохимическая формула бафертисита из месторождения Байюнь-Обо (анализ 3): $Ba(Fe^{2+}_{1,5}Mn_{0,5})_{2,0}TiSi_{2,0}O_{8,5}(OH)_{0,5}$ [7].

К востоку от Малого выхода щелочных гранитов, основного генератора постмагматических флюидов, был встречен бафертисит с повышенным содержанием марганца (табл. 2). Он отличается более светлой окраской и при визуальном осмотре его можно спутать с цзиньшацзянитом. Для сравнения в табл. 2 приведен химический со-

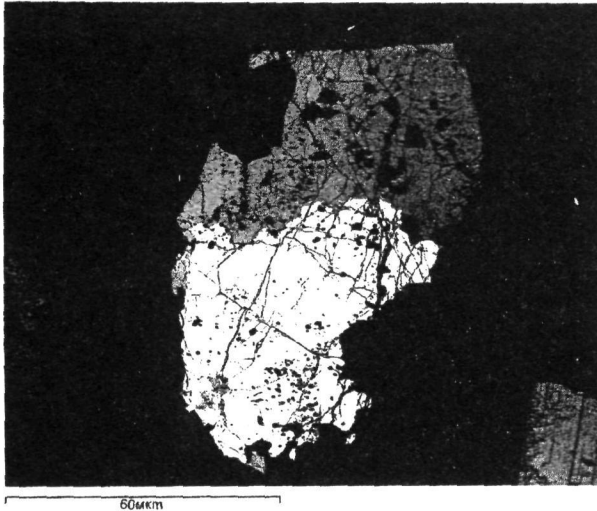


Рис. 1. Изображение полированной поверхности в обратнорассеянных электронах (COMPO) В центре срастания бафертисита (белое)(табл.1, ан.1-2) и цзиньшацзянита (темно-серое) с микроразмерными включениями альбита (черное) в эпоксидной смоле (черное). Внизу справа кристалл цзиньшацзянита (темно-серое), плоскость спайности которого перпендикулярна поверхности аншлифа.

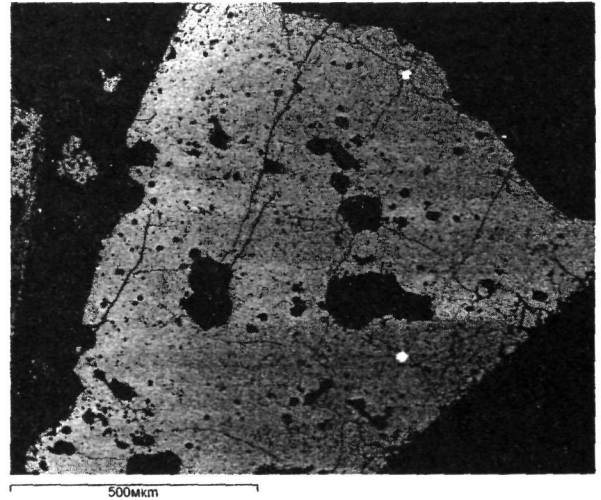


Рис. 2. Изображение полированной поверхности в обратнорассеянных электронах (COMPO) Зерно бафертисита (серое) с включениями кварца (черное) и микроразмерными включениями феррситита (белое) в эпоксидной смоле (черное).

Таблица 3. Химический состав (мас.%) фторсодержащего бафертисита (обр. 368)

| № | O | Ba | Na | Ca | Fe | Mn | Ti | Nb | Sn | Si | F | Σ |
|----|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| 1 | 25,65 | 26,86 | 0,29 | 0,00 | 14,14 | 6,26 | 8,66 | 0,48 | 0,42 | 10,79 | 5,30 | 98,85 |
| 2 | 26,96 | 26,46 | 0,27 | 0,00 | 14,67 | 6,13 | 8,98 | 0,51 | 0,38 | 10,66 | 4,08 | 99,10 |
| 3* | 27,02 | 27,62 | 0,15 | 0,11 | 14,38 | 6,40 | 8,94 | 0,48 | 0,25 | 10,55 | 3,56 | 99,64 |

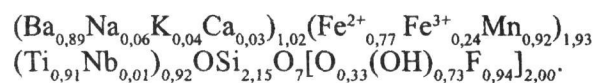
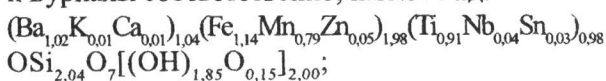
Формульные коэффициенты, рассчитанные на 5 атомов (Fe+Mn+Ti+Nb+Sn+Si)

| | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 1,04 | 0,07 | 0,00 | 1,35 | 0,61 | 0,96 | 0,02 | 0,02 | 2,04 | 1,48 |
| 2 | 1,02 | 0,06 | 0,00 | 1,39 | 0,59 | 0,99 | 0,01 | 0,02 | 2,00 | 1,13 |
| 3* | 1,07 | 0,03 | 0,01 | 1,37 | 0,62 | 0,99 | 0,02 | 0,01 | 1,99 | 0,99 |

Примечание – * Пластика метакристалла перпендикулярна к поверхности аншлифа

став марганцевой разновидности бафертисита, обнаруженной в небольших количествах в дайке микроклинизированных гранит-аплитов, приуроченной к центральной части щелочного массива Бурпала (Северное Прибайкалье) в ассоциации с микроклином, кварцем, эгирином, рибекитом и аксессуарными минералами: цирконом, астрофиллитом, свинцовым бетафитом, эльпидитом, нептунитом, криолитом [8].

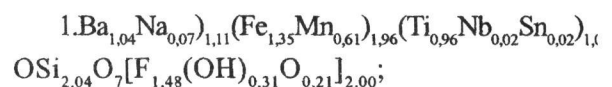
Эмпирические формулы бафертисита, рассчитанные на 5 атомов (Fe+Mn+Zn+Ti+Nb+Sn+Si), Верхнеэспинского месторождения (усредненная) и Бурпала соответственно, имеют вид:



Повышенное содержание Na, K, Ca в бафертисите массива Бурпала объясняется наличием примеси, возможно, цзиньшацзянита.

Наряду с бесфтористым бафертиситом на месторождении отмечаются и фторсодержащие разновидности (табл. 3, рис. 2).

Кристаллохимическая формула фторсодержащего бафертисита (номер формулы соответствует номеру анализа) имеет вид:



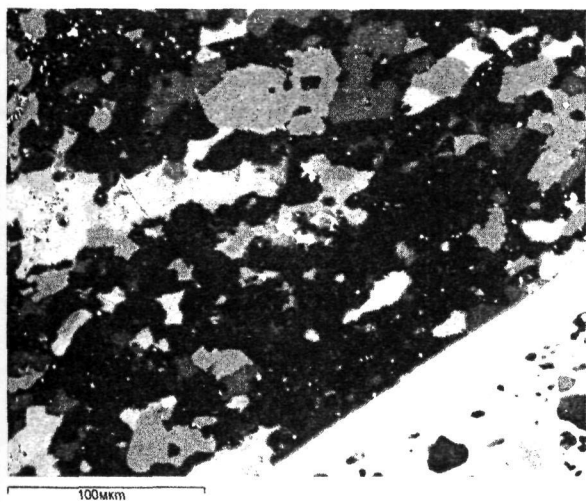


Рис. 3. Изображение полированной поверхности в обратнорассеянных электронах (СОМРО) вмещающая тонкозернистая фенитизированная порода, состоящая из свинцового пирохлора (белое), щелочного амфибола (светло-серое), флюорита (серое), КПШ (темно-серое), альбита (черное, основная масса). Внизу справа метакристалл циньшацзянита (белое) с микроразмерными включениями этих же минералов (темно-серое, серое). Обр. 368

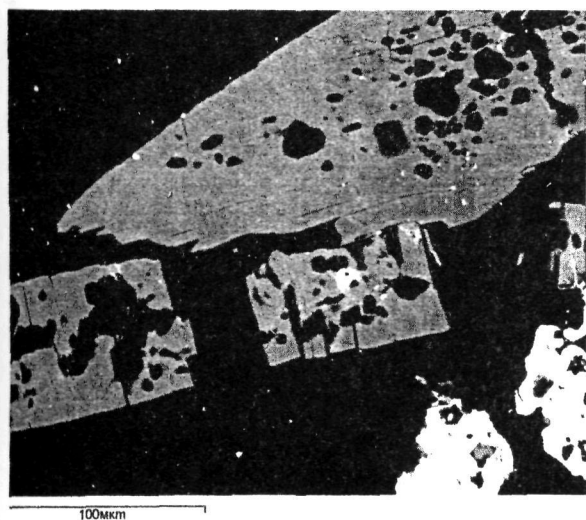
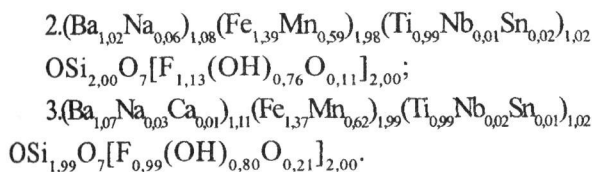
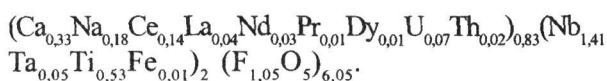


Рис. 4. Изображение полированной поверхности в обратнорассеянных электронах (СОМРО) Зерна циньшацзянита (серое) с микроразмерными включениями альбита (черное), флюорита-(Y) (белое) в эпоксидной смоле (черное).



Средний (по 3 точкам) химический состав (мас.%) тяжелых микроразмерных включений в бафертисите следующий: O 28,95; F 5,41; Na 1,12; Si 0,62; Ca 3,63; Ti 6,89; Fe 0,21; Nb 35,57; La 1,42; Ce 5,21; Pr 0,43; Nd 1,13; Dy 0,52; Ta 2,27; Th 1,23; U 4,75; Σ 99,39, что соответствует ферсмиту $(\text{Ca,Ce,Na})(\text{Nb,Ta,Ti})_2(\text{O,OH,F})_6$. Эмпирическая формула минерала, рассчитанная на 2 атома (Nb+Ta+Ti+Fe) , имеет вид:



Бафертисит отличается от астрофиллита Верхнеэспинского месторождения [9] меньшим числом примесей: ниобия, олова, цинка, калия, кальция, натрия, возможно и лития, содержания которых также незначительны.

Рентгеновские порошкограммы минерала получены на ДРОН-2,0 и в РКД 57,3 на кристаллах, проверенных электроннозондовым микроанализом (табл. 4).

Проведено электронографическое изучение ориентированных препаратов бафертисита и получена дополнительная информация, необходимая для определения сингонии и параметров элементарной ячейки (табл. 5).

Уточненные параметры элементарной ячейки бафертисита: a 10,67(1); b 13,655(6); c 12,47(1) Å; β 119,87(9)°; V 1577(4) Å³. $Z=8$. Пространственная группа: Cm .

Описание циньшацзянита $\text{Na}_2\text{KBaCa}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_8(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+}, \text{Nb}, \text{Zr})_4\text{Si}_8\text{O}_{32}(\text{F}, \text{OH})_6$

Циньшацзянит, также 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)х1х(0,2-0,5) мм (рис. 3, 4).

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. В катодных и ультрафиолетовых лучах не светится. В концентрированных кислотах медленно разлагается, оставляя желто-серый каркас кремнезема и титановых гидроксидов. Измеренная плотность 3,6 г/см³ (ниже, чем у бафертисита).

Таблица 4. Результаты расчета порошковых рентгенограмм бафертисита Верхнеэспинского месторождения

| ДРОН-2,0 Cu _{Kα} , 35 кВ, 20 мА | | | | РКД 57,3 Co _{Kα} , 30 кВ, 20 мА | | hkl | d _{выч.} , Å |
|---|-------|----------|-----|---|-------|-------------|-----------------------|
| Обр. с 1 рудного тела | | Обр. 368 | | Обр. 368 | | | |
| d, Å | I | d, Å | I | d, Å | I | | |
| 10,51 | 30 | | | | | 001 | 10,813 |
| 5,40 | 40 | 5,387* | 38 | | | 002 | 5,407 |
| | 4,187 | 1 | | | | $\bar{2}21$ | 4,195 |
| 4,018 | 4 | 4,001* | 6 | 4,022 | 1 | $\bar{2}22$ | 3,998 |
| 3,850 | 6 | 3,821* | 5 | 3,837 | 1 | 220 | 3,830 |
| 3,615 | 18 | 3,607* | 22 | 3,615 | 1 | 003 | 3,604 |
| 3,509 | 5 | | | | | | |
| 3,445 | 11 | 3,424* | 15 | | | $\bar{2}23$ | 3,422 |
| | | | | 3,418 | 8 | 040 | 3,414 |
| 3,229 | 16 | 3,218* | 9 | 3,224 | 10 д. | 221 | 3,217 |
| | | 3,184* | 7 | | | 023 | 3,188 |
| | | 3,103* | 3 | | | $\bar{2}04$ | 3,102 |
| | | | | 3,046 | 1 | $\bar{1}33$ | 3,056 |
| 2,909 | 6 | 2,877 | 4 | 2,891 | 3 | 042 | 2,887 |
| | | | | | | 202 | 2,878 |
| 2,842 | 6 | | | | | 113 | 2,841 |
| 2,760 | 12 | 2,756 | 8 | 2,743 | 8 | $\bar{3}31$ | 2,752 |
| | | | | | | 240 | 2,747 |
| 2,712 | 100 | 2,704* | 100 | | | 004 | 2,703 |
| | | 2,653 | 5 | | | 222 | 2,652 |
| 2,634 | 9 | 2,630 | 6 | 2,629 | 3 | $\bar{1}51$ | 2,632 |
| | | 2,593* | 1 | | | $\bar{4}03$ | |
| 2,526 | 7 | 2,517 | 8 | 2,517 | 2 | 311 | 2,591 |
| 2,235 | 6 | 2,228 | 4 | 2,265 | 1 | 024 | 2,514 |
| | | | | | | 152 | 2,227 |
| | | | | | | $\bar{4}05$ | |
| | | | | | | 061 | |
| 2,171 | 18 | 2,162 | 21 | | | 005 | 2,163 |
| | | | | | | $\bar{3}52$ | |
| 2,106 | 6 | 2,102 | 6 | 2,099 | 3 | $\bar{3}53$ | 2,102 |
| 2,065 | 6 | 2,062 | 3 | | | $\bar{5}14$ | 2,062 |
| | | | | | | $\bar{2}06$ | |
| | | | | | | 025 | |
| | | | | | | 401 | |
| | | 2,037 | 4 | | | $\bar{4}41$ | 2,035 |
| 1,809 | 3 | 1,806* | 3 | | | 006 | 1,802 |
| 1,757 | 5 | 1,751 | 2 | | | | |
| 1,720 | 4 | | | 1,717 | 1 | | |
| 1,699 | 7 | 1,692 | 9 | | | 080 | 1,707 |
| 1,673 | 5 | 1,668 | 3 | | | | |
| 1,576 | 8 | 1,573 | 4 | 1,572 | 5 | | |
| 1,564 | 6 | | | | | | |
| 1,552 | 8 | 1,548 | 4 | | | 007 | 1,545 |
| | | | | 1,318 | 3 | | |

Аналитик Б.М.Тасов

Аналитик
Г.К.Бекенова

Аналитик
Г.К.Бекенова

Примечания: 1. д – диффузный рефлекс; 2. * – межплоскостные расстояния, по которым рассчитаны параметры элементарной ячейки

Таблица 5. Результаты расчета кольцевой электрограммы бафертисита

| <i>I</i> | $d_{\text{эм}}, \text{Å}$ | <i>hk0</i> | $d_{\text{вм}}, \text{Å}$ |
|----------|---------------------------|------------|---------------------------|
| ср. | 4,47 | 200 | 4,626 |
| сл. | 3,00 | 130 | 3,008 |
| д. силь. | 2,622 | 150 | 2,619 |
| сл. | 2,290 | 400 | 2,313 |
| | | 060 | 2,276 |
| д. сл. | 1,914 | 440 | 1,915 |
| | | 170 | 1,909 |
| д. ср. | 1,724 | 630 | 1,714 |
| сл. | 1,643 | 370 | 1,649 |
| сл. | 1,574 | 280 | 1,600 |
| силь. | 1,530 | 550 | 1,532 |
| сл. | 1,323 | 602 | 1,320 |
| | | 0.10.2 | 1,324 |
| д. сл. | 1,273 | 660 | 1,277 |
| | | 730 | 1,269 |
| сл. | 0,881 | 8.10.0 | 0,883 |
| сл. | 0,765 | 10.10.0 | 0,766 |

Примечания: 1. Электрограф ЭМР-100М, ускоряющее напряжение 75 кВ; 2. Интенсивность рефлексов оценена визуально: силь. – сильный, ср. – средний, сл. – слабый, д. – диффузный

Таблица 6. Химический состав (мас.%) циньшацзянита Верхнеэспинского месторождения (образцы 368 и из Малого выхода, 1 рудное тело) (по 10 точкам) и провинции Сычуань [7]

| Циньшацзянит Верхнеэспинского месторождения | | | | | Циньшацзянит из провинции Сычуань [7] |
|---|----------------------|-----------------------|------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Элемент | Минимальное значение | Максимальное значение | Среднее значение | Стандартное отклонение | |
| Na | 1,71 | 2,15 | 1,95 | 0,05 | 2,34 |
| K | 1,40 | 1,92 | 1,67 | 0,07 | 1,99 |
| Ca | 0,99 | 1,42 | 1,21 | 0,05 | 2,26 |
| Ba | 9,63 | 10,58 | 10,12 | 0,11 | 8,53 |
| Fe | 15,85 | 18,40 | 17,08 | 0,22 | 16,08 |
| Mn | 6,65 | 9,43 | 7,93 | 0,32 | 10,24 |
| Zn | 0,00 | 0,39 | 0,12 | 0,04 | 0,00 |
| Ti | 9,24 | 10,68 | 10,02 | 0,16 | 9,73 |
| Nb | 0,52 | 2,51 | 1,28 | 0,20 | 0,79 |
| Sn | 0,00 | 1,43 | 0,51 | 0,17 | 0,00 |
| Zr | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,52 |
| Si | 12,72 | 13,22 | 12,88 | 0,05 | 12,69 |
| O | 34,72 | 37,55 | 36,44 | | 34,76 |
| H | | | | | 0,07 |
| У | 98,05 | 101,19 | 100,75 | | 100,00 |

та), вычисленная – 3,819 г/см³. Спайность совершенная по плоскости (001). В прозрачных шлифах обладает плеохроизмом. Показатели преломления $N_p > 1,780$.

Отличия циньшацзянита 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) (табл. 6).

Усредненная эмпирическая формула циньшацзянита Верхнеэспинского месторождения, рассчитанная на 12 атомов (Ti+Nb+Sn+Si), имеет вид:

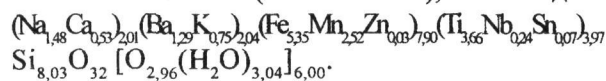


Таблица 7. Результаты расчета порошковых рентгенограмм цзиньшацзянита(обр. 368)

| РКД 57,3 | | | | ДРОН-2,0 | | hkl | d _{выч.} , Å | Примесь |
|-----------------------------------|----|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-----|-------------|-----------------------|-----------|
| Cu _{Kα2} 35 кВ, 20 мÅ | | Co _{Kα2} 30 кВ, 20 мÅ | | Co _{Kα2} 30 кВ, 20 мÅ | | | | |
| d, Å | I | d, Å | I | d, Å | I | | | |
| | | | | 10,273 | 37 | 002 | 10,317 | |
| | | | | 5,400 | 14 | 200 | 5,315 | Бафертсит |
| | | | | 5,260 | 4 | $\bar{2}01$ | 5,257 | |
| | | | | 5,151 | 29 | 004 | 5,158 | |
| | | 4,389* | 1 | 4,392 | 1 | $\bar{2}03$ | 4,392 | |
| | | | 4,207 | 1 | 220 | 4,210 | | |
| 4,053 | <1 | 4,040* | 1 | 4,048 | 2 | 203 | 4,041 | |
| 3,788 | <1 | 3,807* | 1 | 3,798 | 2 | $\bar{1}15$ | 3,809 | |
| | | | | | | 222 | 3,808 | |
| | | | 3,604 | 4 | 115 | 3,604 | | |
| | | | 3,517 | 4 | 025 | 3,541 | | |
| 3,407 | 5д | 3,416 | 8 | 3,432 | 100 | 006 | 3,439 | |
| | | | | | | 310 | 3,432 | |
| | | | | | | $\bar{3}11$ | 3,432 | Бафертсит |
| | | 3,381* | 8 | 3,373 | 4 | $\bar{2}24$ | 3,376 | |
| | | | | 3,266 | 2 | 042 | 3,270 | |
| | | | | | | $\bar{1}16$ | 3,262 | |
| | | | | 3,218 | 3 | 134 | 3,213 | |
| 3,157 | 8 | 3,160* | 9 | 3,157 | 7 | 224 | 3,158 | |
| 2,855 | 10 | 2,846* | 10 | 2,843 | 3 | 241 | 2,841 | |
| 2,766 | 2 | 2,754 | 1 | 2,754 | 4 | 314 | 2,754 | |
| | | | | | | $\bar{3}15$ | 2,754 | |
| | | | 2,707 | 24 | 027 | 2,710 | | Бафертсит |
| 2,628 | 4 | 2,629 | 8 | 2,634 | 4 | $\bar{4}02$ | 2,629 | |
| 2,565 | 3 | 2,572 | 3 | 2,579 | 69 | 008 | 2,579 | |
| | | | | | | 226 | 2,579 | |
| 2,449 | 2 | 2,433 | 3 | | | $\bar{4}04$ | 2,450 | |
| | | | | | | 421 | 2,439 | |
| | | | | | | 046 | 2,435 | |
| 2,327 | 1 | 2,318* | 3 | | | 245 | 2,318 | |
| | | | | 2,309 | 1 | $\bar{4}24$ | 2,309 | |
| 2,209 | 1д | 2,196* | 3 | 2,199 | 2 | $\bar{4}06$ | 2,196 | |
| | | | | 2,164 | 2 | 246 | 2,164 | |
| 2,118 | <1 | 2,109 | 2 | 2,114 | 2 | $\bar{2}47$ | 2,114 | |
| | | | | 2,062 | 35 | 00.10 | 2,063 | |
| | | 2,059 | <1 | | | $\bar{5}13$ | 2,059 | |
| 2,023 | <1 | | | | | 406 | 2,021 | |
| | | 2,017 | 1 | 2,019 | 2 | 247 | 2,018 | |
| 1,761 | 4д | 1,755 | 3 | 1,752 | 2 | | | |
| | | 1,720 | 2 | 1,718 | 17 | 00.12 | 1,719 | |
| | | 1,607 | 1 | | | | | |
| 1,589 | 2д | 1,581 | 3 | | | | | |
| | | | | 1,474 | 4 | 00.14 | 1,474 | |
| | | | | 1,350 | 1 | | | |

Примечания: 1. д – диффузный рефлекс; 2. * – межплоскостные расстояния, по которым рассчитаны параметры элементарной ячейки.

Эмпирическая формула цзиньшацзянита из провинции Сычуань: $\text{Na}_{1,8}\text{Ba}_{1,1}\text{K}_{0,9}\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}_{4,7}\text{Mn}_{3,3})_{8,0}(\text{Ti}_{3,6}\text{Fe}^{3+}_{0,4}\text{Nb}_{0,15}\text{Zr}_{0,1})_{4,25}\text{Si}_8\text{O}_{32}[\text{O}_{2,8}\text{F}_{2,5}(\text{H}_2\text{O})_{0,6}(\text{OH})_{0,1}]_{6,00}$ [7].

Помимо самостоятельных вкраплений цзиньшацзянит нередко встречается в тесном сростании с бафертиситом (рисунок 1) или в виде идиоморфных вкрапленников в астрофиллите.

Рентгеновские порошкограммы цзиньшацзянита получены на РКД 57,3 и ДРОН-2,0 (таблица 7).

Уточненные параметры элементарной ячейки цзиньшацзянита: a 10,67(1); b 13,79(1); c 20,71(3) Å; v 94,92(8)°; V 3037(12) Å³. $Z=4$. Пространственная группа: $C2/m$, Cm , $C2$.

Генезис минералов

Заполнившая первоначальную более или менее значительную по объему пологую полость щелочно-гранитная магма, обогащенная летучими минерализаторами и легкоподвижными компонентами в ходе кристаллизационной дифференциации в условиях близповерхностного залегания, способствующих «вскипанию», явилась основным источником послемагматических флюидов. Отделение и накопление этих флюидов, а также, вероятно, частичное вовлечение в процесс поровых растворов вмещающих пород, привело к интенсивной послемагматической переработке как самих только что образовавшихся гранитов и их производных пегматитов, так и вмещающих пород, затронутых потоком этих флюидов.

Изменения в гранитах выразились в более или менее сильной перекристаллизации. Химический состав пород при этом почти не изменился, но заметно увеличивались содержания фтора, лития, редких элементов. Гипидиоморфнозернистые структуры, свойственные нормальным интрузивным гранитам, при изменении или не сохранялись, или сохранялись частично. Новообразованные породы обычно имеют гранобластовую структуру. Из первичных минералов иногда сохраняются ядра крупных вкраплений первичного кварца и микроклина. Первичные полевые шпаты замещались вторичными – лейстовым альбитом и решетчатым микроклином. Вместо первичных темноцветных – биотита и полущелочных амфиболов возникли вторичные – литиевые рибекиты,

эгирины и астрофиллит. Вторичные полевые шпаты, в отличие от первичных, лишены пертитовых (и антипертитовых) вростков, пелитоморфных частиц, микрочешуек гематита, и вообще лишены признаков разложения или замещения. Благодаря «свежести» таких полевых шпатов, образовавшиеся щелочные «апограниты», по терминологии А.А. Беуса и Э.А. Северова, приобретают белый или голубовато-белый цвет. Такие «апограниты» по существу являются фенитизированными гранитами более раннего происхождения.

Автомета- и метасоматические преобразования гранитов происходили в условиях одностороннего стресса, ориентированного в юго-западно-северо-восточном направлении. Свидетельством этого служит отчетливо наблюдаемая директивная ориентированность призм рибекита, эгирина и лейст альбита в одном северо-западном направлении независимо от ориентировки линии контакта интрузивов.

Многочисленные пегматоидные тела и жилы при автometасоматических изменениях сохранились лучше, чем граниты, но во многих случаях подверглись тоже интенсивной альбитизации и микроклинизации. Она происходила с привносом и без привноса циркония, тория, ниобия, редких земель и последующим развитием кислотного выщелачивания (грейзенизации). Грейзенизация была слабо развита и далеко не везде проявлялась одинаково. Процесс сопровождался частичным или полным разложением рибекита, эгирина, эльпидита, астрофиллита и новообразованием литиевой слюды – полилитииона, кварца, рутила и других минералов. До образования настоящих грейзенов процесс не доходил или доходил на локальных участках.

Во вмещающих породах воздействие послемагматических фенитизирующих флюидов, выделявшихся из относительно крупной камеры, привело к образованию метасоматических пород в экзоконтактной зоне. В разрезе это выглядит, как постепенная смена первичных пород к максималенно измененным метасоматитам. В верхнем контакте с внешней стороны ореола изменения привели к образованию щелочнополевошпатовых, обычно бескварцевых (или с его очень небольшим содержанием), метасоматитов типа фенитов. С внутренней, прилегающей к интрузиву стороны ореола, возникли кварц-щелочнополевошпатовые щелочные метасоматиты, прибли-

жающиеся по валовому составу главных породообразующих минералов к щелочным гранитам. Валовый состав бескварцевых метасоматитов аналогичен составу щелочных сиенитов. Из темноцветных в этих метасоматических породах обычно в том или ином количестве присутствуют литиевый рибекит, эгирин, арфведсонит, астрофиллит, литиевый биотит, которые возникали в зависимости от состава исходных пород. Так, если исходная порода содержала много извести (известковистые песчаники, дайки диоритовых и габбро-диоритовых порфиритов, пересекающих толщи ороговикованных осадочных отложений), вновь образованная порода состоит из флюорита (40-60%) и тех же альбита, микроклина, рибекита и др. Если исходная порода – диабаз или диоритовый порфирит (дайки), то вновь образованная состоит из альбита, микроклина, флюорита, биотита и очень редко арфведсонита, рибекита. Если исходная порода – углеродисто-глинистые туфосланцы, то вновь образованная – альбит-микроклиновая с большим или меньшим количеством рибекита или арфведсонита, иногда астрофиллита. По кварцсодержащим полимиктовым песчаникам образуются альбит-микроклиновые бескварцевые или с небольшим количеством его метасоматиты.

Одновременно с щелочными и щелочноземельными элементами и фтором во все эти породы привносилось сравнительно много рудных компонентов, особенно, циркония, ниобия, тория, иттрия и редких земель (преимущественно иттриевой группы) и, в меньшем количестве, олово, свинец, цинк, титан, серебро и др.

Редкометаллозамещенные пегматиты и фенитизированные (и гранитизированные) вмещающие породы несут разнообразную, богатую видами минерализацию. Однако сравнительно ограниченный объем первичных камер (источника) обусловили небольшую мощность ореола фенитизации по сравнению с таковыми для классических районов развития метасоматитов этого типа.

На Верхнеэспинском месторождении мощность сплошных измененных ореолов, даже на самых глубоко преобразованных участках составляет несколько метров и редко более. Обычные мощности метасоматитов над пологой кровлей, если в них не было легко проницаемых зон, составляет 1-2 м. Вдоль трещин или по более про-

ницаемым прослоям локальная фенитизация прослеживается значительно дальше, до десятков метров.

Бафертисит и цзиньшацзянит встречены в зоне более или менее значительно перекристаллизованных обогащенных щелочами вмещающих пород – собственно фенитов. В отличие от астрофиллита, встречающегося как в гранитах, так и в фенитизированных породах, описываемые минералы встречаются обычно только в фенитах и в прожилках кварц-полевошпатового состава ближних экзоконтактов выходов щелочных гранитов, залегающих в зонах фенитизированных пород. Источником бария для описываемых минералов, а также встречающихся на месторождении бариевых минералов: каппелинита, барилита, бацирита явились, вероятнее всего, вмещающие туфогенные алевролиты и дайки основных и средних пород. Основная часть таких элементов, как титан, марганец, цинк, медь, вероятнее всего, тоже заимствована из вмещающих пород: гранодиоритов, диоритовых порфиритов и даек основных пород. В этой зоне проявлена разнообразная редкометалльная минерализация: циркон, торит, пироклор, монацит, ксенотим, гагаринит и описываемые минералы.

Заключение

1. Титаносиликаты: бафертисит и цзиньшацзянит – типоморфные минералы процессов фенитизации вмещающих пород Верхнеэспинского месторождения. Они 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.

2. По сравнению с астрофиллитом изученные минералы имеют более постоянный химический состав. Отмечается незначительное число примесей цинка, ниобия, олова и др. Для изученных образцов бафертисита характерна количественная вариация основных элементов железа и марганца; почти постоянное присутствие примесей ниобия, олова, цинка, калия, кальция, натрия, возможно и лития, а в анионной группе (от полного отсутствия до нескольких процентов) фтора и хлора [настоящая работа, 3].

3. По совместному нахождению бафертисита, цзиньшацзянита и минералов группы астро-



филлита можно судить о близкоодновременном их образовании.

Авторы выражают благодарность СНС группы микро- и наноминералогии ИГН им. К.И. Сатпаева В.Л. Левину за конструктивные замечания при обсуждении результатов и подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов Е.И., Чжан Пэй-шань. Новый минерал – бафертсит // Science record. New Ser. 1959. Vol. 3. №12. P. 652.
2. Яковлевская Т.А., Минеев Д.А. О форме кристаллов и оптической ориентировке бафертсита // Новые данные о минералах СССР. Труды Минер. Музея АН СССР. 1965. Вып. 16. С. 293.
3. Степанов А.В., Минеев Д.А., Катаева З.Т. Первая находка бафертсита в СССР // Минералогические исследования. Труды ИМГРЭ. 1972. Вып. 2. С.17-22.
4. Гуань Я-Сянь, Симонов В.И., Белов Н.В. Кристаллическая структура бафертсита // ДАН СССР. 1963. 149. №6. С. 1416-1419.
5. Ямнова Н.А., Пуцаровский Д.Ю., Егоров-Тисменко Ю.К. и др. Новые данные о кристаллохимии минералов группы астрофиллита // Вестн. Моск. ун-та. 2002. Сер.5. Геология. №4. С. 84-86.
6. Hong Wenxing, Fu Pingqiu Jinshajiangite, a new Ba-Mn-Fe-Ti-bearing silicate mineral // Geochemistry (China). 1982. №1. P.458-464.
7. <http://www.mindat.org>
8. Ганзеев А.А., Ефимов А.Ф., Любамилова Г.В. Марганцевый бафертсит из массива Бурпала (Северное Прибайкалье) // Новые данные о минералах СССР. Труды Минер. Музея АН СССР. 1971. Вып. 20. С.195-197.
9. Степанов А.В., Бекенова Г.К., Котельников П.Е. и др. Вариации химического состава астрофиллита из щелочных гранитов северных отрогов Тарбагатай // Сб.Актуальные проблемы наук о Земле. Мат-лы конф. «Сатпаевские чтения». Алматы. 2008. С.129-137.