

УДК 622-113:552.321.1(575.11)

ФАЯЛИТСОДЕРЖАЩАЯ ОНГОНИТ-ЛЕЙКОГРАНИТОВАЯ АССОЦИАЦИЯ ЧАТКАЛО-КУРАМИНСКОГО РЕГИОНА (СРЕДИННЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

© 2013 г. У. Д. Мамарозиков, Р. Ахунджанов, С. С. Сайдыганиев, Г. М. Суюндикова

*Институт геологии и геофизики АН РУз
100041, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Олимлар, 49
E-mail: udmamarozikov@rambler.ru*

Поступила в редакцию 22.05. 2012 г.

В статье рассмотрены геологическая позиция, результаты петрографических, минералогических и геохимических исследований, указывающие на петрогенезис и потенциальную рудоносность фаялитсодержащей онгонит-лейкогранитовой ассоциации Чаткало-Кураминского региона (Срединный Тянь-Шань). Происхождение онгонитовых расплавов рассматривается как следствие взаимодействия палингенно-анатектических коровых гранитных и аляскитовых магм с глубинными флюидами. Показано что, формирование и локализация редкометалльно-редкоземельной минерализации в надинтрузивной зоне Ангреновской дайки и Четсуйского интрузива связаны с интенсивным оттоком летучих и рудных компонентов из фронтальной части рудогенерирующего флюидонасыщенного расплава онгонитов и лейкогранитов. Ярко выраженная акцессорно-минеральная и геохимическая специализация фаялитсодержащей онгонит-лейкогранитовой ассоциации указывает, что с ней генетически связано редкометалльно-редкоземельное оруденение.

Ключевые слова: онгониты, редкометалльные лейкограниты, акцессорно-минеральная и геохимическая специализация, потенциальная рудоносность, петрогенезис.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время считается общепринятым, что редкометалльная онгориолит-лейкогранитовая ассоциация формируется вслед за крупными гранитоидными батолитами и является индикатором континентальных внутриплитных геодинамических обстановок [2, 3, 5, 7, 17, 22, 30, 32]. Онгониты, онгориолиты, топазсодержащие риолиты и литий-фтористые лейкограниты являются прямым поисковым критерием обнаружения редкометалльного оруденения. Места их проявления рекомендуются как перспективные на обнаружение не только известных типов месторождений (Li, Be, W, Mo, Sn, флюорит), но и тяжелых литофильных редких металлов (Nb, Ta, PЗЭ, Zr, Hf и др.) [2, 4, 6, 11, 12, 15, 21, 24, 33–35, 46].

Исследованиями авторов редкометалльно-магматизма Срединного Тянь-Шаня получены оригинальные материалы по геологии, петрографии, петрохимии, геохимии и рудоносности, впервые выделенной в регионе онгонит-лейкогранитовой ассоциации [13]. Предполагается общность рудно-магматической системы, сформировавшей эту ассоциацию, с редкометалльно-редкоземельным оруденением. Образование различных типов руд представляется как следствие внедрения и кристаллизации

флюидонасыщенных высокофтористых редкометаллоносных магм на различных уровнях земной коры. Выявлена генетическая связь с интрузиями редкометалльных лейкогранитов экзогрейзенового вольфрамового (с Sn, Mo, Nb, Ta, Be, Li, флюоритом) месторождения Саргардон и альбититового Ti-Nb-Ta-редкоземельного (с Zr, Hf, U, Th, Au и др.) месторождения Келенчек-Ташсай. С неками и дайками онгонитов, онгориолитов и эксплозивными образованиями тесно сопряжено редкощелочное (с Nb, Ta, Zr, Hf, W, Mo, U, Th, PЗЭ, Au, флюоритом) месторождение Шавазсай. Геологическими и геохронологическими методами установлено, что потенциально редкометаллоносная онгонит-лейкогранитовая ассоциация проявлена в позднепермское время после орогенного риолит-гранитного вулcano-плутонизма.

Фаялитсодержащие онгониты и их интрузивные аналоги – фаялитсодержащие лейкограниты выявлены в пределах Четсу-Шавкатлинской перспективной редкометаллоносной площади [25, 40]. Они в виде мощного (200–300 м) дайкообразного трещинного тела, прорывающего трахириолиты Бабайтаудорского лакколита, протягиваются с перерывами в субмеридиональном направлении на 15 км по правому борту р. Ангрэн (рис. 1). Небольшие интрузивные тела установлены на правом берегу р. Ангрэн, в верховьях р. Четсу (Четсуйский шток)

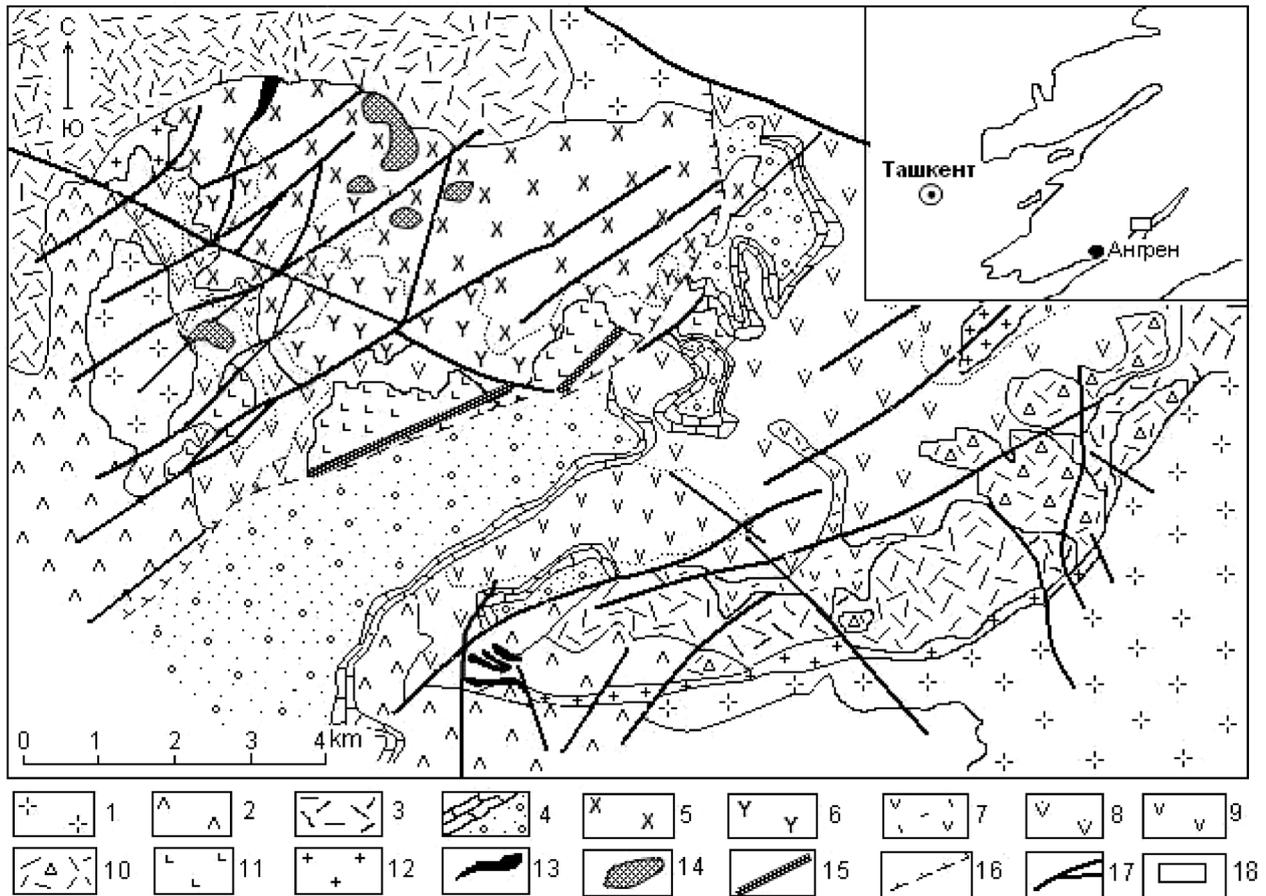


Рис. 1. Схема геологического строения Бабайтаудорского лакколита, по [20] с добавлением авторов.

1 – Кураминские гранодиориты (C_2); 2 – андезидациты акчинской свиты (C_{3ak}); 3 – туфы, туфобрекчии туфолавы сферолитов и риолитов оясайской свиты (C_{3os}); 4 – мезокайнозойские отложения долины реки Ангрэн; 5–13 – породы Бабайтаудорского лакколита: 5–10 – первый этап: 5 – гранит-порфиры и кварцевые порфиры первой фазы, 6 – фельзитовидные кварцевые порфиры первой фазы (краевая фация), 7 – туфолавы и лавобрекчии кварцевых порфиров второй фазы, 8 – кристаллокластические кварцевые порфиры второй фазы, 9 – кварцевые порфиры второй фазы, 10 – лавобрекчии, туфолавы и туфы кварцевых порфиров третьей фазы; 11–13 – второй этап: 11 – граносиенит-порфиры и кварцевые сиенит-порфиры, 12 – гранит-порфиры; 13 – кластолавы риолитов; 14–15 – породы онгонит-лейкогранитовой ассоциации: 14 – фаялитсодержащие лейкограниты (выходы Четсуйского интрузива), 15 – Ангрэнская дайка фаялитсодержащих онгонитов; 16–17 – элементы тектоники: 16 – альпийские надвижки, 17 – разрывы герцинского возраста; 18 – площадь выходов фаялитсодержащих онгонитов и лейкогранитов. Контакты между породами разных фаз обозначены сплошной линией, между породами фаций – точечной линией.

Таблица 1. Распространение фаялитовых гранитоидов в складчатых областях

| Регион, площадь | Источники |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Чаткало-Кураминский регион</i> | |
| Фаялитовые лейкограниты Чаркасарского интрузива | [27] |
| Фаялитовые лейкограниты Аштского интрузива | [27] |
| Фаялитовые лейкограниты Туюкского интрузива | [27] |
| Фаялитсодержащие онгониты, редкометальные лейкограниты Четсуйского интрузива | [25, 40] |
| <i>Антарктика</i> | |
| Фаялитсодержащие анорогенные граниты интрузива Тор Ранже | [32] |
| <i>Северная Америка</i> | |
| Фаялитовые граниты интрузива Моунт-Роза, Колорадо | [44] |
| <i>Южная Америка</i> | |
| Фаялитовые гранитоиды плутона Кобкиесера, Чили | [45] |
| <i>Северная Африка, Нигерия</i> | |
| Фаялитсодержащие высокоглиноземистые граниты комплекса ривавай ринг | [42] |

Таблица 2. Результаты Rb-Sr изотопных исследований пород фаялитсодержащей онгонит-лейкогранитовой ассоциации Чаткало-Курамиского региона (Срединный Тянь-Шань)

| № п.п. | Номера пробы | Название пород и минералов | Rb, мкг/г | Sr, мкг/г | ⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr | ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr |
|-----------------------------------------------------|--------------|----------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| Фаялитсодержащие онгониты Ангренской дайки | | | | | | |
| 1 | 09M-02 | онгонит | 185.24 | 66.29 | 8.074(15) | 0.73908(19) |
| 2 | 09M-01 | —" | 182.97 | 69.58 | 7.597(28) | 0.73715(10) |
| 3 | 09M-04 | —" | 182.01 | 81.09 | 6.484(25) | 0.73322(5) |
| 4 | 09M-03 | —" | 184.31 | 82.40 | 6.458(19) | 0.73322(7) |
| 5 | 09M-05 | —" | 165.05 | 89.55 | 5.321(24) | 0.72905(7) |
| 6 | 09M-03 | плагноклазовая фракция | 90.31 | 191.94 | 1.356(9) | 0.71395(6) |
| Фаялитсодержащие лейкограниты Четсуйского интрузива | | | | | | |
| 7 | 09M-11 | лейкогранит | 220.34 | 35.42 | 18.05(7) | 0.77729(11) |
| 8 | 09M-09 | —" | 223.14 | 39.61 | 16.33(6) | 0.77105(7) |
| 9 | 09M-09/1 | калиевый полевой шпат | 201.55 | 44.45 | 13.13(5) | 0.75844(22) |
| 10 | 09M-09/2 | биотитовая фракция | 196.18 | 48.78 | 11.64(5) | 0.75448(23) |
| 11 | 09M-14 | лейкогранит | 177.56 | 61.84 | 8.30(3) | 0.74065(21) |

Примечание. Величина ошибки (числа в скобках) соответствует 95%-ному доверительному уровню и относится к последним значащим цифрам.

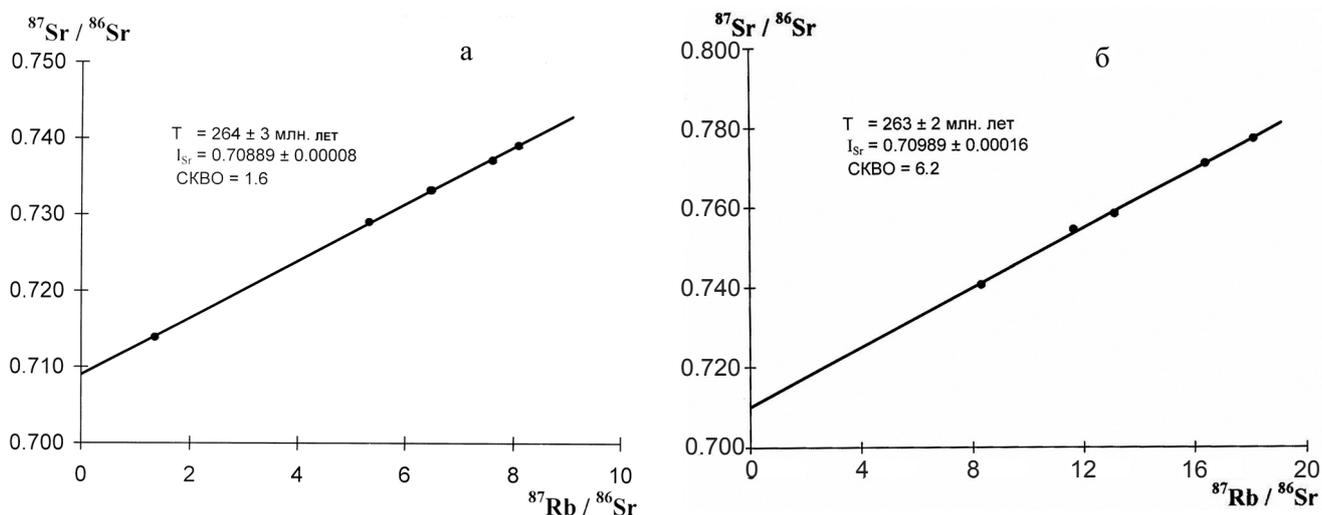


Рис. 2. Рубидий-стронциевая изохрона фаялитсодержащих онгонитов Ангренской дайки (а) и фаялитсодержащих лейкогранитов Четсуйского интрузива (б).

и его правого притока (Шавкатлинское месторождение олова). В экзоконтактовых и апикальных частях тел фаялитсодержащих онгонитов и лейкогранитов, как результат взаимодействия флюидов и расплава с окружающими трахириолитами, метасоматоза и пирометаморфизма, наблюдаются гибридные граносиенит-порфиры.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выявления главных геолого-петрографических, минералого-геохимических особенностей и рудоносности фаялитсодержащих онгонитов и редкометальных лейкогранитов Чаткало-Курамиского региона проведены следующие исследования: петрографическое и минералогическое

изучение шлифов с помощью многофункционального поляризационного микроскопа Nikon Optiphot 2Pol (Япония), оборудованного цветной фотовидеокамерой JVC-ТК-1280Е; изучение формы нахождения и состава породообразующих, акцессорных, рудных минералов, твердых микровключений на электронном микроанализаторе JXA – 8800R “Superprobe” фирмы “Jeol” (Япония); инструментальными нейтронно-активационными и рентгеноспектральными анализами определены содержания благородных, редких и редкоземельных элементов в породах; определен абсолютный возраст пород рубидий-стронциевым методом на твердофазном масс-спектрометре МИ-1201Т с погрешностью измерения изотопных отношений ⁸⁵Rb/⁸⁷Rb, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr на уровне 0.005–0.03%. Для кор-

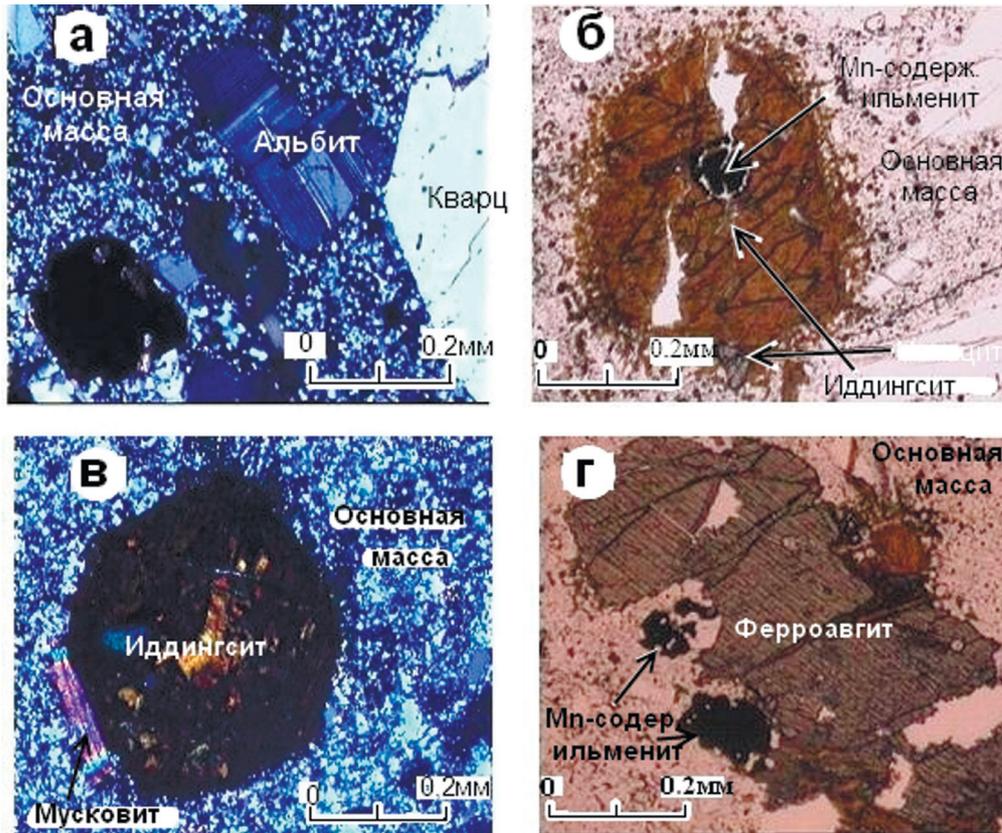


Рис. 3. Петрографические особенности фаялитсодержащих онгонитов Ангреной дайки.

а – порфировые выделения ограненного кварца и полисинтетических двойников альбита. Основная масса породы мелкозернистая, кварц-полевошпатовая; б – иддингсит по фаялиту, внутри зерна имеется раскристаллированная флюидная глобула, состоящая из карбоната (белое кольцо) и марганецсодержащего ильменита (темное), николи //; в – порфировое выделение фаялита, полностью замещенное иддингситом, николи +; г – порфировое выделение ферроавгита, николи //.

Таблица 3. Химический состав породообразующих фемических минералов фаялитсодержащих онгонитов и лейкогранитов Четсу-Шавкатлинской площади, %

| Компонент | 1 (2) | 2 (12) | 3 (6) | 4 (3) | 5 (4) | 6 (2) | 7 (2) | 8 (4) | 9 (2) |
|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 21.55 | 46.34 | 49.26 | 42.32 | 42.82 | 37.69 | 40.78 | 41.75 | 41.29 |
| TiO ₂ | 6.64 | 0.35 | 0.26 | 1.46 | 0.43 | 0.13 | 1.18 | 0.96 | 1.14 |
| Al ₂ O ₃ | 1.98 | 0.73 | 1.83 | 7.64 | 7.28 | 4.30 | 8.09 | 6.86 | 8.40 |
| FeO* | 67.88 | 26.38 | 26.33 | 29.26 | 28.23 | 56.82 | 28,10 | 29.27 | 31.35 |
| MnO | – | 1.26 | 1.34 | 1.24 | 0.92 | 0.08 | 0.89 | 0.79 | 0.78 |
| MgO | 0.06 | 2.90 | 2.74 | 2.03 | 3.80 | 0.44 | 3.59 | 2.62 | 3.50 |
| CaO | 0.03 | 17.45 | 17.99 | 10.25 | 9.49 | 0.10 | 10.03 | 10.11 | 10.27 |
| Na ₂ O | – | 0.24 | 0.36 | 1.56 | 2.23 | – | 2.03 | 1.66 | 1.83 |
| K ₂ O | 0.89 | 0.04 | 0.02 | 1.30 | 1.25 | 0.99 | 1.57 | 1.34 | 1.48 |
| SnO ₂ | – | – | – | – | 0.43 | – | – | – | – |
| Cl | – | – | – | 0.87 | 0.58 | – | 0.58 | 0.39 | 0.27 |
| Y ₂ O ₃ | – | 0.29 | – | – | – | – | – | 0.05 | 0 |
| La ₂ O ₃ | – | – | – | 0.16 | – | – | – | – | – |
| Ce ₂ O ₃ | – | – | – | 0.13 | – | – | – | – | – |
| Nd ₂ O ₃ | – | – | – | 0.05 | – | – | – | – | – |
| Dy ₂ O ₃ | – | – | – | 3.20 | 3.15 | – | – | 0.16 | – |
| Yb ₂ O ₃ | – | – | – | 0.12 | 0.68 | – | – | – | – |
| Сумма | 99.03 | 95.98 | 100.13 | 101.59 | 101.29 | 100.55 | 96.84 | 95.96 | 100.31 |

Примечание. 1–5 – онгониты Ангреной дайки: 1 – фаялит (содержит 0.24% Nb₂O₅); 2, 3 – ферроавгит; 4, 5 – ферропаргасит в флюидизатных обособлениях онгонитов Ангреной дайки; 6–9 – лейкограниты Четсуйского интрузива: 6 – фаялит лейкогранитов центральной части Четсуйского интрузива; ферропаргасит лейкогранитов центральной (7) и восточной (8, 9) частей Четсуйского интрузива. Микронзондовые анализы выполнены У.Д. Мамарозиковым на электронном микроанализаторе Jeol-88-R (Япония) в ИГиГ АН РУз (в скобках здесь и далее количество точечных определений). Здесь и далее, в табл. 4–8, прочерк – не обнаружено. Содержание H₂O здесь и далее не определялось.

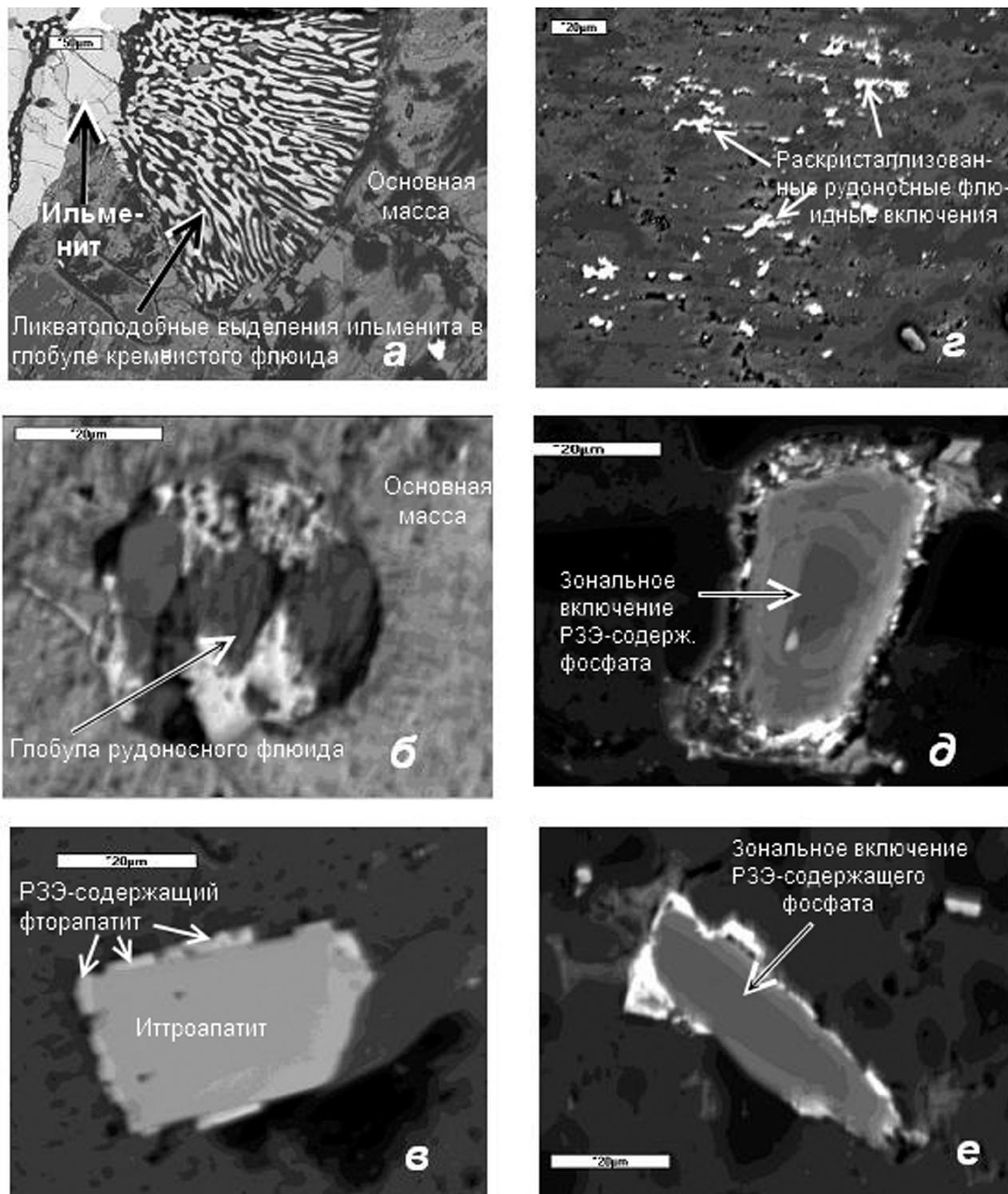


Рис. 4. Раскристаллизованные рудогенные флюидные включения в фаялитсодержащих онгонитах и лейкогранитах Чаткало-Кураминского региона.

а – ликватоподобные выделения ильменита (белое) в глобуле кремнистого флюида (темное); б – глобула рудоносного флюида в основной массе породы; в – кристалл иттроапатита с каймой, состоящей из РЗЭ-содержащего фторапатита; г – раскристаллизованные рудоносные флюидные включения (белые) в микропорах калиевого полевого шпата; д, е – зональные включения РЗЭ-содержащего фосфата: центральная зона – РЗЭ-содержащий фторапатит, средняя – иттроапатит, кайма – фторсодержащий рабдофанит. Внутри РЗЭ-содержащего фторапатита имеется каплевидное включение (белое), состоящее из фторфосфата циркония и РЗЭ. Растровые снимки получены с помощью микроанализатора Jeol-8800R. а, б, в – образцы из эндоконтактовой части Ангренской дайки фаялитсодержащих онгонитов, г – из экзоконтактовой (фронтальной) части той же дайки, д, е – из апикальной (эндоконтактовой) части фаялитсодержащих лейкогранитов Четсуйского интрузива.

ректировки правильности измерения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ применены: международный стандарт "Eimer and Amend" и ГСО "ВНИИМ". Вычисление возраста проведено полиномиальным методом наименьших квадратов. Результаты этих исследований приведены в таблицах и рисунках.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования геологических, петрографических, минералогических и геохимических особенностей фаялитсодержащих онгонитов и редкометальных лейкогранитов Чаткало-Кураминского региона показывают, что между этими породами существуют черты общности в геологическом положении, химическом, минеральном, микроэлементном составе и рудоносности. Экзотическая ассоциация железистого оливина в продуктах кислых расплавов отмечалась и ранее, но до сих пор это явление не получило удовлетворительного петрологического обоснования.

Согласно экспериментальным данным Н.Л. Боуэна и Дж.Ф. Шерера [31], можно предположить совместное нахождение алюмощелочных силикатов с железистыми как следствие фракционной кристаллизации. Оливин, по составу приближающийся к Fe_2SiO_4 , встречается в породах, богатых щелочными полевыми шпатами с кварцем или нефелином – в трахитах, риолитах и фонолитах. Наличие фаялита установлено также в богатых натрием дацитах, риолитовых обсидианах островов Тихого, Атлантического океанов, Японского и Средиземного морей (о. Пантеллерия), в Ирландии, риолитах юго-запада Невады [43], Йеллоустонской горячей точке США [30], Якутинской вулканической депрессии Приморского края [36] и других регионах. Фаялитсодержащие породы известны и среди глубинных интрузивных аналогов кислых вулканических (табл. 1). Исследования онгонитового магматизма [13, 25, 40] свидетельствуют о возможном проявлении на внутриплитном этапе редкометаллоносных расплавов в результате метаматматического взаимодействия остаточных кремнекислых (алюмосиликатных) расплавов с мантийными флюидами. А.Г. Владимиров и др. [17] для специфических эльвановых (калиевых) рудоносных расплавов предполагают их формирование в глубинных камерах в результате глубокой дифференциации родоначальных гранитных магм.

Абсолютный возраст фаялитсодержащих онгонитов и фаялитсодержащих лейкогранитов Чаткало-Кураминского региона соответствует поздней перми (264 ± 3 млн. лет – Ангренская дайка, 263 ± 2 млн. лет – Четсуйский интрузив, Rb-Sr-метод, ИГиГ АН РУз). Первичные отношения изотопов ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀ = 0.70889; 0.70989 указывают на их генетическое родство и интерпретируются как показатель палингенно-анатектической природы магматического расплава (табл. 2, рис. 2а, б)

Фаялитсодержащие онгониты имеют черную, темно-серую окраску и по внешнему облику их можно принять за основные породы. Структура пород порфиристая. Основная масса микро- и скрытокристаллическая микрофельзитовая и сферолитовая, кварц-полевошпатового состава. Порфиристые выделения составляют 30–35% от общего объема породы. Они представлены кислым плагиоклазом (альбит-олигоклаз, олигоклаз) (%) – 35–40, калиевым полевым шпатом – 30–35, кварцем – 25–30, реже, темноцветными минералами (титанистый фаялит, ферроавгит, щелочный амфибол – ферропаргасит, слюда и др.) – 2–5. Их характерной петрографической особенностью является идиоморфизм кварца по отношению к другим калиевым минералам, наличие обособлений флюорита, первичных редкоземельных карбонатных минералов (1.5–2%) и кристаллов титанистого фаялита (2–3%) следующего химического состава (%): SiO_2 – 21.55; TiO_2 – 6.64; Al_2O_3 – 1.98; FeO – 67.88; MgO – 0.06; CaO – 0.03; Na_2O – 0.00; K_2O – 0.89; Nb_2O_5 – 0.24; сумма – 99.27 (рис. 3, 4). В этих породах кислый плагиоклаз преобладает над калиевым полевым шпатом. Акцессорные минералы представлены цирконом, титаномагнетитом, ильменитом, ильменорутилом, ниобистым рутилом, апатитом, фторапатитом, иттропатитом (РЗЭ-содержащим апатит), рабдофанитом, фосфатсодержащим иттротритом, синхизитом, бастнезитом, ортитом, чевкинитом, молибден-, кобальт- и РЗЭ-содержащими разновидностями пирита, молибден- и теллурсодержащими галенитом, сфалеритом, интрателлурическими соединениями Zn-Cu, Mo-Os состава и др. Преобладающую роль играют фторкарбонаты и фторапатит (табл. 3–8).

В фаялитсодержащих онгонитах встречаются стекловатые, криптокристаллические обособления темно-серого, серого цвета, имеющие следующий химический состав (%): SiO_2 – 77.74; Al_2O_3 – 13.60; ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) – 0.29; CaO – 1.54; Na_2O – 6.37; K_2O – 0.00; сумма – 99.54. Эти данные близко соответствуют составу "натриевого риолита" – тройной эвтектики из альбита, фаялита и тридимита, приведенному в экспериментах Н.Л. Боуэна и Дж.Ф. Шерера [31]. Согласно Д.С. Коржинскому, их можно считать затвердевшими продуктами глубинных (подкорковых) кремнещелочных (натриевых) растворов [23]. Под интенсивным влиянием таких глубинных растворов и мантийных флюидов, возможно, преобразован остаточный расплав орогенного кислого (алюмосиликатного) очага и образовалась смешанная (онгориолитовая) магма. С применением электронного микроанализатора Jeol-8800Rh в этих обособлениях (или расплавных включениях) установлены микрокристаллы альбита, кварца, калиевого полевого шпата, пироксена (ферроавгит,

Таблица 4. Результаты микрозондовых анализов силикатов редких земель онгонитов и лейкогранитов Четсу-Шавкатлинской площади, %

| Компонент | 1(2) | 2(2) | 3(3) | 4(3) | 5(2) | 6(8) | 7(6) | 8(4) | 9 (2) | 10(7) | 11(2) | 12(2) | 13(2) | 14(2) |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| SiO ₂ | 25.67 | 24.04 | 34.17 | 16.99 | 30.70 | 32.37 | 30.04 | 30.36 | 33.00 | 33.01 | 31.23 | 26.73 | 20.64 | 30.18 |
| TiO ₂ | – | 0.40 | – | 24.10 | 0.36 | 0.28 | 0.47 | 1.10 | – | 1.58 | – | 0.85 | – | – |
| Al ₂ O ₃ | 0.99 | 3.15 | 16.68 | 0.55 | 13.04 | 15.75 | 14.50 | – | 14.75 | 15.23 | 9.06 | 10.93 | 9.66 | 4.57 |
| FeO | 1.08 | 38.24 | 13.42 | 6.03 | 10.59 | 12.49 | 13.96 | 15.47 | 15.07 | 19.26 | 0.76 | 8.47 | 8.31 | 0.86 |
| MnO | 0.26 | – | 0.62 | – | 0.60 | 0.43 | 0.61 | 0.98 | 0.27 | 0.18 | – | – | 0.55 | – |
| MgO | – | 0.54 | 0.63 | 0.20 | 0.55 | 0.06 | 0.76 | 2.43 | 0.73 | 0.95 | 0.36 | 1.06 | 0.53 | – |
| CaO | 8.20 | 0.68 | 12.34 | 3.64 | 11.82 | 9.72 | 9.54 | – | 11.57 | 9.49 | 2.69 | 7.31 | 6.98 | 3.15 |
| Na ₂ O | – | – | – | – | 0.18 | 0.20 | 0.35 | 1.67 | – | 0.23 | 1.46 | – | 0.16 | 0.39 |
| K ₂ O | – | 1.52 | 0.12 | – | 0.17 | 0.28 | 0.19 | 0.40 | – | 0.22 | 4.74 | 0.25 | – | 2.47 |
| P ₂ O ₅ | 2.65 | 2.68 | – | – | 2.19 | 0.05 | 0.36 | 0.15 | – | – | – | 0.94 | 8.55 | 6.42 |
| F | – | – | – | – | – | – | 0.45 | 7.84 | – | – | – | 5.08 | – | – |
| Y ₂ O ₃ | 6.53 | – | – | – | 0.26 | 0.06 | 0.13 | – | 0.64 | 0.14 | – | 0.43 | 0.38 | – |
| La ₂ O ₃ | 8.67 | 1.33 | 4.92 | 8.58 | 4.67 | 4.60 | 5.23 | 5.86 | 5.28 | 3.49 | 9.65 | 3.64 | 7.33 | 6.34 |
| Ce ₂ O ₃ | 22.51 | 3.15 | 9.96 | 18.82 | 9.89 | 11.69 | 11.30 | 11.96 | 10.70 | 7.84 | 20.51 | 6.84 | 16.06 | 22.16 |
| Pr ₂ O ₃ | 1.70 | – | – | 0.79 | 1.01 | – | 0.52 | 1.07 | – | 0.19 | 1.42 | – | 0.83 | 4.35 |
| Nd ₂ O ₃ | 6.63 | 0.66 | 1.69 | 4.10 | 3.34 | 3.39 | 3.45 | 3.50 | 2.45 | 2.62 | 5.87 | 1.73 | 5.82 | 5.00 |
| Sm ₂ O ₃ | 1.14 | 0.48 | 0.76 | 0.46 | 0.34 | 1.44 | 0.57 | 0.22 | 0.20 | 0.34 | 0.66 | 0.37 | 1.00 | 1.42 |
| Eu ₂ O ₃ | 0.11 | – | 1.01 | 0.90 | – | 1.67 | 0.20 | – | – | – | 0.44 | 0.48 | – | 1.04 |
| Gd ₂ O ₃ | 1.15 | – | 0.82 | – | 0.21 | 1.55 | 0.50 | 0.19 | – | 0.11 | 0.74 | – | 0.84 | 1.32 |
| Dy ₂ O ₃ | 0.90 | 5.27 | 2.02 | 0.20 | 0.04 | 2.79 | 1.16 | 0.06 | 3.30 | 0.71 | 0.26 | 1.47 | 0.64 | 0.62 |
| Ho ₂ O ₃ | – | – | – | – | – | 0.22 | 0.09 | – | 0.67 | – | 0.16 | 0.61 | – | 0.37 |
| Tb ₂ O ₃ | 0.20 | – | – | – | 0.23 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Er ₂ O ₃ | 0.52 | – | – | – | 0.16 | 0.08 | 0.04 | 0.25 | – | – | 0.38 | 0.17 | – | 0.88 |
| Tm ₂ O ₃ | 0.22 | – | – | – | 0.06 | – | 0.06 | – | – | – | 0.13 | – | – | – |
| Yb ₂ O ₃ | 0.69 | 1.93 | 0.65 | – | – | 0.31 | 0.13 | – | 0.89 | 0.25 | – | 0.83 | – | 0.52 |
| Lu ₂ O ₃ | 0.12 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| TR₂O₃ | 51.09 | 12.82 | 21.83 | 33.85 | 20.21 | 27.8 | 23.38 | 23.11 | 24.13 | 15.69 | 40.22 | 16.57 | 32.9 | 44.02 |
| ThO ₂ | 4.92 | 8.15 | – | 2.84 | 0.33 | – | 0.12 | – | – | 0.02 | 1.49 | 19.15 | 2.91 | 3.28 |
| UO ₂ | 0.54 | 1.31 | – | 0.07 | 0.13 | – | – | – | – | – | 0.31 | 0.55 | – | 0.35 |
| Сумма | 95.4 | 93.53 | 99.81 | 88.27 | 90.87 | 99.43 | 94.73 | 83.51 | 99.52 | 95.86 | 92.32 | 97.89 | 91.19 | 95.69 |

Примечание. 1–4 – онгониты Ангреновской дайки: 1 – ортит; 2 – ториортит; 3 – кальциортит (содержит 0.19% In₂O₃); 4 – измененный чевкинит; 5–12 – лейкограниты Четсуйского интрузива: 5–7 – ферриортит (содержит до 0.1% SnO₂); 8 – фторсодержащий гидроферриортит; 9, 10 – ферриортит; 11 – гидроортит; 12 – фторсодержащий ториортит; 13 – бри-толит; 14 – нагетеллит. Содержание H₂O не определялось.

Таблица 5. Результаты микрозондовых анализов фосфатов редких земель и флюоритов онгонитов и лейкогранитов Четсу-Шавкатлинской площади, %

| Компонент | 1(3) | 2(2) | 3(5) | 4(2) | 5(1) | 6(3) | 7(5) | 8(1) | 9(2) | 10(4) | 11(2) | 12(3) | 13(3) | 14(2) | 15(4) |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| SiO ₂ | 2.12 | – | 1.08 | – | 0.19 | 0.62 | – | 11.86 | 6.20 | 1.85 | 1.52 | 5.60 | 4.34 | 0.06 | – |
| TiO ₂ | 1.51 | – | 0.14 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Al ₂ O ₃ | 0.14 | – | 0.07 | – | – | 0.32 | – | – | 0.17 | – | 0.16 | 0.85 | 0.57 | 0.06 | – |
| FeO* | 1.00 | 0.20 | 0.92 | 0.66 | 0.09 | – | – | – | – | 0.19 | 0.49 | 0.78 | 1.84 | 0.05 | 0.05 |
| MnO | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| MgO | 0.17 | – | 0.02 | – | 0.04 | – | – | – | – | – | 0.20 | 0.07 | 0.35 | – | – |
| CaO | 49.99 | 52.73 | 34.59 | 10.20 | 72.10 | 3.97 | 0.76 | 6.60 | 41.44 | 51.72 | 50.31 | 25.28 | 5.43 | 72.11 | 75.05 |
| P ₂ O ₅ | 37.66 | 40.21 | 16.13 | 23.52 | – | 16.15 | 32.51 | 15.04 | 30.49 | 39.91 | 38.36 | 24.91 | 17.05 | – | – |
| F | – | – | 23.51 | 14.37 | 11.16 | 7.54 | – | 14.03 | – | – | – | 15.09 | 9.87 | 15.54 | 10.70 |
| ZrO ₂ | – | – | – | – | – | – | – | 18.60 | – | – | – | – | – | – | – |
| MoO ₃ | – | – | – | – | – | – | – | 0.45 | – | – | – | – | – | – | – |
| Y ₂ O ₃ | 0.27 | – | – | 0.51 | 0.23 | 0.45 | 44.93 | – | 0.21 | 0.35 | – | – | – | – | 0.20 |
| La ₂ O ₃ | 0.31 | 0.86 | 0.84 | 7.92 | 1.16 | 12.95 | – | 7.99 | 4.31 | 0.79 | 0.91 | 6.69 | 10.69 | 0.10 | 0.47 |
| Ce ₂ O ₃ | 1.63 | 1.84 | 2.12 | 21.17 | 1.25 | 20.95 | – | 15.75 | 8.10 | 1.54 | 1.22 | 13.74 | 23.60 | 0.21 | 1.36 |
| Pr ₂ O ₃ | – | – | 0.12 | 0.76 | – | 2.17 | – | – | 0.45 | – | – | 0.64 | 2.07 | – | 0.16 |
| Nd ₂ O ₃ | 1.01 | 0.52 | 0.80 | 6.93 | – | 8.94 | 0.69 | 4.90 | 2.35 | 0.71 | 0.66 | 4.20 | 8.09 | – | – |
| Sm ₂ O ₃ | 0.19 | – | 0.07 | 0.95 | – | 1.28 | 0.66 | 0.59 | 0 | 0.26 | – | 0.56 | 1.14 | – | – |
| Gd ₂ O ₃ | 0.63 | – | 0.02 | 1.51 | – | 1.06 | 2.29 | 0.42 | 0.19 | 0.14 | – | 0.11 | 1.30 | – | – |
| Dy ₂ O ₃ | – | – | 0.02 | 1.07 | – | 0.87 | 4.48 | 0.19 | 0.39 | 0.16 | – | 0.49 | 0.76 | – | – |
| Tb ₂ O ₃ | – | – | – | 0.40 | – | 0.04 | 0.61 | – | – | 0.02 | – | – | – | – | – |
| Ho ₂ O ₃ | – | – | – | 0.44 | – | 0.25 | 1.10 | – | – | 0.02 | – | – | – | – | – |
| Er ₂ O ₃ | – | – | – | 0.79 | – | 0.48 | 3.25 | – | – | 0.05 | – | – | 0.40 | – | – |
| Tm ₂ O ₃ | – | – | – | 0.51 | – | 0.04 | 0.34 | – | – | – | – | – | 0.26 | – | – |
| Yb ₂ O ₃ | 0.27 | 0.80 | – | 0.34 | 1.58 | 0.92 | 3.50 | – | – | 1.01 | – | 0.32 | 0.38 | 1.70 | 1.76 |
| TR₂O₃ | 4.31 | 4.02 | 3.99 | 43.3 | 4.22 | 50.4 | 61.85 | 29.84 | 16 | 5.05 | 2.79 | 26.75 | 48.69 | 2.01 | 3.95 |
| ThO ₂ | – | – | 0.18 | 2.02 | – | 5.78 | 0.77 | 1.96 | – | – | – | 1.35 | – | – | – |
| UO ₂ | – | – | 0.08 | 0.11 | – | 0.31 | – | 0.21 | – | – | – | – | – | – | – |
| Сумма | 96.9 | 97.16 | 80.71 | 94.18 | 87.8 | 85.25 | 96.91 | 99.07 | 94.3 | 98.72 | 93.83 | 100.68 | 88.14 | 89.83 | 89.75 |

Примечание. 1–5 – онгониты Ангреновской дайки: 1, 2 – апатит; 3, 4 – фторапатит (содержит 0.56% Eu₂O₃); 5 – флюорит; 6–11 – лейкограниты Четсуйского интрузива: 6 – фторсодержащий рабдофанит, (содержит 0.35% Cl); 7 – ксенотим; 8 – фтористый фосфат циркония и редких земель; 9–11 – апатит; 12–13 – зональный фторапатит: 12 – центральная часть (содержит 0.59% Ag₂O), 13 – внешняя зона – фторсодержащий рабдофанит, 14, 15 – флюорит. Содержание H₂O не определено.

Таблица 6. Состав сульфидов и металлических сплавов онгонитов и лейкогранитов Четсу-Шавкатлинской площади, %

| Элемент | 1 (2) | 2 (2) | 3 (2) | 4 (1) | 5 (1) | 6 (2) | 7 (2) | 8 (4) | 9 (1) | 10 (1) | 11 (2) | 12 (2) | 13 (2) | 14 (2) | 15 (2) |
|---------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Al | — | — | — | — | — | — | 0.40 | 1.05 | — | — | — | — | 46.16 | — | 0.08 |
| K | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.30 | — | — | 0.22 |
| Cl | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.23 |
| S | 41.03 | 31.38 | 11.60 | 9.98 | 10.35 | 10.17 | — | — | 18.42 | 17.77 | 18.10 | 0.04 | — | 1.20 | 0.11 |
| Mn | — | — | — | 0.09 | — | 0.04 | — | — | 0.05 | 0.10 | 0.07 | 0.62 | — | 0.02 | — |
| Fe | 57.91 | 16.44 | 2.31 | 0.79 | 0.92 | 0.86 | 0.31 | 2.31 | 33.01 | 32.90 | 32.96 | 84.93 | — | 28.05 | 0.10 |
| Ni | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 54.11 | — | — |
| As | — | — | — | — | — | — | — | — | 43.92 | 45.76 | 44.84 | — | — | 36.94 | — |
| Sb | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.01 | 0.06 | 0.54 | — | — | — | — |
| Ag | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.17 | — |
| Cu | — | — | 0.15 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.09 | 52.34 |
| Zn | 0.39 | 45.70 | — | — | — | — | 71.05 | 55.35 | — | — | — | — | — | — | 32.10 |
| Pb | — | — | 70.40 | 76.94 | 77.85 | 77.40 | 21.33 | 31.14 | — | — | — | — | — | — | — |
| Tl | — | — | — | 3.77 | 4.34 | 4.06 | — | 1.74 | — | — | — | — | — | — | — |
| Mo | 1.00 | 5.00 | — | 8.83 | 7.66 | 8.25 | — | — | 2.83 | 2.24 | 2.54 | — | — | 33.26 | 0.06 |
| Re | 0.01 | — | — | — | — | — | — | — | 0.61 | 0.92 | 0.76 | 0.67 | — | 0.14 | 3.39 |
| Dy | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 8.75 | — | — | — |
| Сумма | 100.34 | 98.52 | 84.46 | 100.4 | 101.12 | 100.78 | 93.68 | 95.74 | 99.85 | 99.75 | 99.81 | 96.09 | 100.27 | 99.87 | 90.64 |

Примечание. 1–8 – онгониты Ангрэнской дайки: 1 – пирит, 2 – железистый сфалерит, 3 – измененный галенит, 4–6 – галенит, 7, 8 – металлические сплавы (Cu-Zn); 9–15 – лейкограниты Четсуйского интрузива: 9–11 – арсенопирит, 12 – Fe-Dy сплав, 13 – Ni-Al сплав, 14 – Fe-As-Mo сплав, 15 – Cu-Zn сплав. Состав флюидных обособлений (%): SiO₂ – 10.79, FeO – 4.31, MnO – 0.10, CaO – 1.32, CuO – 0.60, TeO – 0.35, BaO – 3.55, PbO – 43.06, Tl₂O – 1.66, Ag₂O – 5.24, As₂O – 6.20, MoO₃ – 17.56, SbO₃ – 0.34, SO₃ – 5.59.

Таблица 7. Результаты микрозондовых анализов карбонатов редких земель, сидеритов и манганкарбонатов онгонитов и лейкогранитов Четсу-Шавкатлинской площади, %

| Компо- нент | 1 (2) | 2 (2) | 3 (2) | 4 (2) | 5 (2) | 6 (3) | 7 (2) | 8 (2) | 9 (2) | 10 (4) |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SiO ₂ | 0.58 | 0.66 | 4.90 | 5.88 | 14.50 | — | 6.71 | 2.89 | 3.51 | 1.34 |
| TiO ₂ | — | — | — | — | 1.34 | — | — | — | — | — |
| Al ₂ O ₃ | 0.45 | — | 0.20 | 1.62 | 4.98 | — | 0.56 | — | 1.02 | 0.21 |
| FeO* | — | 4.87 | 0.11 | 3.26 | 33.34 | 2.56 | 0.58 | 3.50 | 0.70 | 0.75 |
| MnO | — | 0.24 | 0.77 | — | 0.76 | 12.23 | — | — | — | — |
| MgO | — | 0.20 | — | — | 1.79 | 0.34 | 0.27 | — | — | — |
| CaO | 2.71 | 11.19 | 4.32 | 6.44 | 0.23 | 38.47 | 5.63 | 3.51 | 5.43 | 12.43 |
| P ₂ O ₅ | — | 0.45 | — | 4.80 | — | — | — | 6.38 | — | — |
| SO ₃ | — | — | — | — | 0.02 | — | 0.75 | — | — | — |
| F | — | — | — | 5.32 | — | — | — | 5.77 | 5.58 | 3.78 |
| Y ₂ O ₃ | — | 4.23 | 0.60 | 1.96 | — | 0.10 | 0.85 | 0.21 | 0.67 | 2.60 |
| La ₂ O ₃ | 11.58 | 9.80 | 8.90 | 7.19 | — | — | 11.42 | 9.19 | 11.02 | 12.91 |
| Ce ₂ O ₃ | 24.50 | 24.25 | 17.23 | 16.77 | — | — | 18.79 | 28.66 | 18.36 | 28.29 |
| Pr ₂ O ₃ | — | 2.85 | 1.67 | — | — | — | 1.19 | 1.85 | 0.63 | 1.78 |
| Nd ₂ O ₃ | 8.60 | 8.38 | 10.22 | 4.31 | — | — | 6.02 | 7.39 | 5.99 | 7.86 |
| Eu ₂ O ₃ | — | — | — | 0.18 | — | — | 0.22 | 0.31 | — | — |
| Sm ₂ O ₃ | — | 1.20 | 1.58 | 0.48 | — | — | 1.20 | 1.08 | 0.07 | 1.12 |
| Gd ₂ O ₃ | 0.99 | 1.88 | 1.39 | 0.19 | — | — | 0.90 | 1.99 | 0.66 | 0.87 |
| Dy ₂ O ₃ | — | 0.18 | 1.21 | 0.40 | — | — | 1.23 | 0.79 | 0.68 | 0.14 |
| Tb ₂ O ₃ | — | 1.10 | — | — | — | — | 0.31 | — | — | 0.04 |
| Ho ₂ O ₃ | — | — | 0.24 | — | — | — | 0.30 | 0.33 | — | — |
| Er ₂ O ₃ | — | 0.22 | 0.33 | — | — | — | 0.30 | 0.64 | — | 0.18 |
| Tm ₂ O ₃ | — | 0.30 | — | — | — | — | — | 0.14 | — | 0.12 |
| Yb ₂ O ₃ | — | 0.22 | 0.39 | — | — | 0.25 | — | 0.26 | — | 0.16 |
| TR₂O₃ | 45.67 | 54.61 | 43.76 | 31.48 | — | 0.35 | 42.73 | 52.84 | 38.08 | 56.07 |
| ThO ₂ | — | 4.87 | 3.37 | 3.72 | — | — | 9.84 | 3.29 | 10.85 | 0.24 |
| UO ₂ | — | 0.17 | 0.08 | 0.44 | — | — | 0.25 | 0.15 | 0.02 | 0.08 |
| Сумма | 49.41 | 77.26 | 57.77 | 62.96 | 56.96 | 53.95 | 67.32 | 78.33 | 65.19 | 74.9 |

Примечание. 1–6 – онгониты Ангрэнской дайки: 1–3 – лантанит, 4 – синхизит (содержит 0.26% PbO), 5 – сидерит, 6 – манганкарбонат; 7–10 – лейкограниты Четсуйского интрузива: 7 – лантанит, 8–10 – бастнезит. Содержания C и H₂O не определялось.

эгириин-авгит), щелочного амфибола (ферропаргасит), интенсивно замещенного идингситом фаялита, торита, силикатов ниобия, циркония и редкоземельных металлов (ризерит, гидроортит, циркон, циртолит), фторкарбонатов редких земель (синхизит, бастнезит, лантанит), иттропатита, молибден- и таллийсодержащего галенита, цинксодержащего титаномагнетита, интрателлурических соединений (сплавы молибден-осмиевого состава). В микроразделах кварца установлены нанокристаллы касситерита.

Фаялитсодержащие лейкограниты в виде небольших тел (от 0.02–0.05 до 4–5 км²) прорывают трахириолиты, фельзит-порфиры, кварцевые порфиры Бабайтаудорского лакколита раннепермского возраста (рис. 1). В Четсуйском штоке породы имеют серую, темно-серую окраску, порфировидную структуру. Основная масса мелко-среднезернистая, микрогранитовая, местами микропегматитовая, кварц-полевошпатового состава. Порфиновые выделения так же, как у фаялитсодержащих онгонитов, обычно представлены кислым плагиоклазом (альбит-олигоклаз, олигоклаз), калиевым полевым шпатом, кварцем, реже, – биотитом, пироксеном (ферроавгит, эгириин-авгит), щелочным амфиболом (ферропаргасит) и фаялитом, имеющим следующий химический состав (%): SiO₂ – 37.69; TiO₂ – 0.13; Al₂O₃ – 4.30; FeO – 56.82; MnO – 0.08; MgO – 0.44; CaO – 0.10; Na₂O – 0.00; K₂O – 0.99; сумма – 100.55. Наряду с фаялитом в породе встречаются и нанокристаллы ортосиликата (недосыщенные кремнеземом) меди, цинка и свинца – виллемита. Для этих пород характерны идиоморфизм кварца по отношению к другим силикатным минералам, наличие кристаллов фаялита, обособлений флюорита и первичных редкоземельных карбонатных минералов (см. табл. 3–8, рис. 5–7). В лейкогранитах установлены следующие акцессорные минералы: циркон, магнетит, титаномагнетит, марганецсодержащий ильменит, ильменорутил, гранаты (преимущественно пироп-альмандиновый ряд), касситерит, ниобистый рутил, титанит, фергусонит, ризерит, самарскит, апатит, фторапатит, иттропатит, монацит, фторсодержащий рабдофанит, РЗЭ-содержащий фторфосфат циркония, флюорит, торит, фосфатсодержащий иттротрит, синхизит, бастнезит, лантанит, ториортит, гидроортит и фторортит, нагательлит, чевкинит, пирит, молибденит, шеелит, арсенопирит в флюидных обособлениях, интрателлурические соединения (металлические сплавы) Ni-Al, Zn-Cu-Pb, Zn-Cu, Fe-As-Mo состава и др. При этом так же, как и в фаялитсодержащих и других разновидностях онгонитов и онгориолитов региона, преобладающую роль играют акцессории Sn, Nb, W, Mo, Th и редкоземельных элементов (см. табл. 4–8).

Фаялитсодержащие онгониты и лейкограниты характеризуются обилием выделений (флюидных

Таблица 8. Составы рудных минералов онгонитов и лейкогранитов Четсу-Шавкатлинской площади, %

| Компонент | 1 (1) | 2 (1) | 3 (1) | 4 (2) | 5 (2) | 6 (2) |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 35.10 | 25.19 | 25.49 | 38.81 | 15.41 | 3.51 |
| TiO ₂ | 2.19 | – | – | – | 2.06 | 11.95 |
| Al ₂ O ₃ | 7.82 | – | 4.48 | – | 0.99 | 1.01 |
| FeO* | 2.91 | 0.53 | 0.31 | 1.49 | 1.42 | 1.86 |
| MnO | 0.28 | – | – | 1.76 | 0.33 | 0.61 |
| MgO | – | – | – | – | 0.53 | – |
| CaO | 6.01 | 1.32 | – | 12.89 | 7.68 | 12.96 |
| Na ₂ O | 4.70 | – | – | – | 0.65 | – |
| K ₂ O | – | – | – | – | – | – |
| ZnO | – | 40.97 | 24.10 | – | – | – |
| CuO | – | 28.63 | 42.70 | – | – | – |
| PbO | – | 3.36 | 1.12 | – | – | 0.12 |
| TeO | – | – | – | 18.61 | – | – |
| SnO ₂ | – | – | – | 4.47 | – | – |
| MoO ₃ | 0.82 | – | – | – | – | 0.59 |
| WO ₃ | 34.12 | – | – | – | – | 0.67 |
| Cl | – | – | – | – | – | – |
| Y ₂ O ₃ | – | – | – | 3.46 | – | – |
| La ₂ O ₃ | – | – | – | 0.93 | 1.45 | 1.42 |
| Ce ₂ O ₃ | – | – | – | – | 4.35 | 4.05 |
| Sm ₂ O ₃ | – | – | – | 0.81 | – | 0.20 |
| Gd ₂ O ₃ | – | – | – | 2.04 | – | 0.005 |
| Nd ₂ O ₃ | – | – | – | – | 0.73 | 1.78 |
| Dy ₂ O ₃ | 0.73 | – | – | 3.90 | 0.53 | 0.80 |
| Yb ₂ O ₃ | – | – | – | – | 0.27 | 0.13 |
| V ₂ O ₅ | – | – | – | – | 0.28 | – |
| Nb ₂ O ₅ | – | – | – | – | 25.00 | 32.21 |
| Ta ₂ O ₅ | – | – | – | – | 0.59 | 5.63 |
| Th ₂ O | – | – | – | – | 17.03 | 2.40 |
| UO ₂ | – | – | – | – | 4.06 | 12.93 |
| Pr ₂ O ₃ | – | – | – | – | – | 0.68 |
| Ho ₂ O ₃ | – | – | – | – | – | 0.46 |
| Сумма | 94.68 | 100 | 98.2 | 89.17 | 83.36 | 95.975 |

Примечание. Лейкограниты центральных частей Четсуйского интрузива: 1 – ортосиликат вольфрама; 2–3 – виллемит (содержит 1.45% Re); 4 – силикат Те и РЗЭ (содержит 5.45% Au, 1.63% Вi₂O₃); 5 – микро- и нанокристаллы ризерита в кремнщелочных обособлениях онгонитов Ангренской дайки; 6 – фергусонит, центральная часть Четсуйского лейкогранитового интрузива. Содержание H₂O не определялось.

обособлений) флюорита и первичных карбонатов, ассоциирующих с минералами Ti, Nb, РЗЭ (титаномагнетитом, ильменитом, ильменорутилом, ниобистым рутилом, иттропатитом, рабдофанитом, фосфатсодержащим иттротритом, бастнезитом, синхизитом, ортитом, чевкинитом и др., рис. 4, 6, 7). В результате кислотного воздействия высокофтористых флюидов в апикальных частях интрузивных тел лейкогранитов образовалась сетчатая структура в плагиоклазе и флюоритовая кайма вокруг него (рис. 5ж и 5з). Судя по количественному и качественному набору акцессорных минералов, в этих породах резко преобладают иттри-

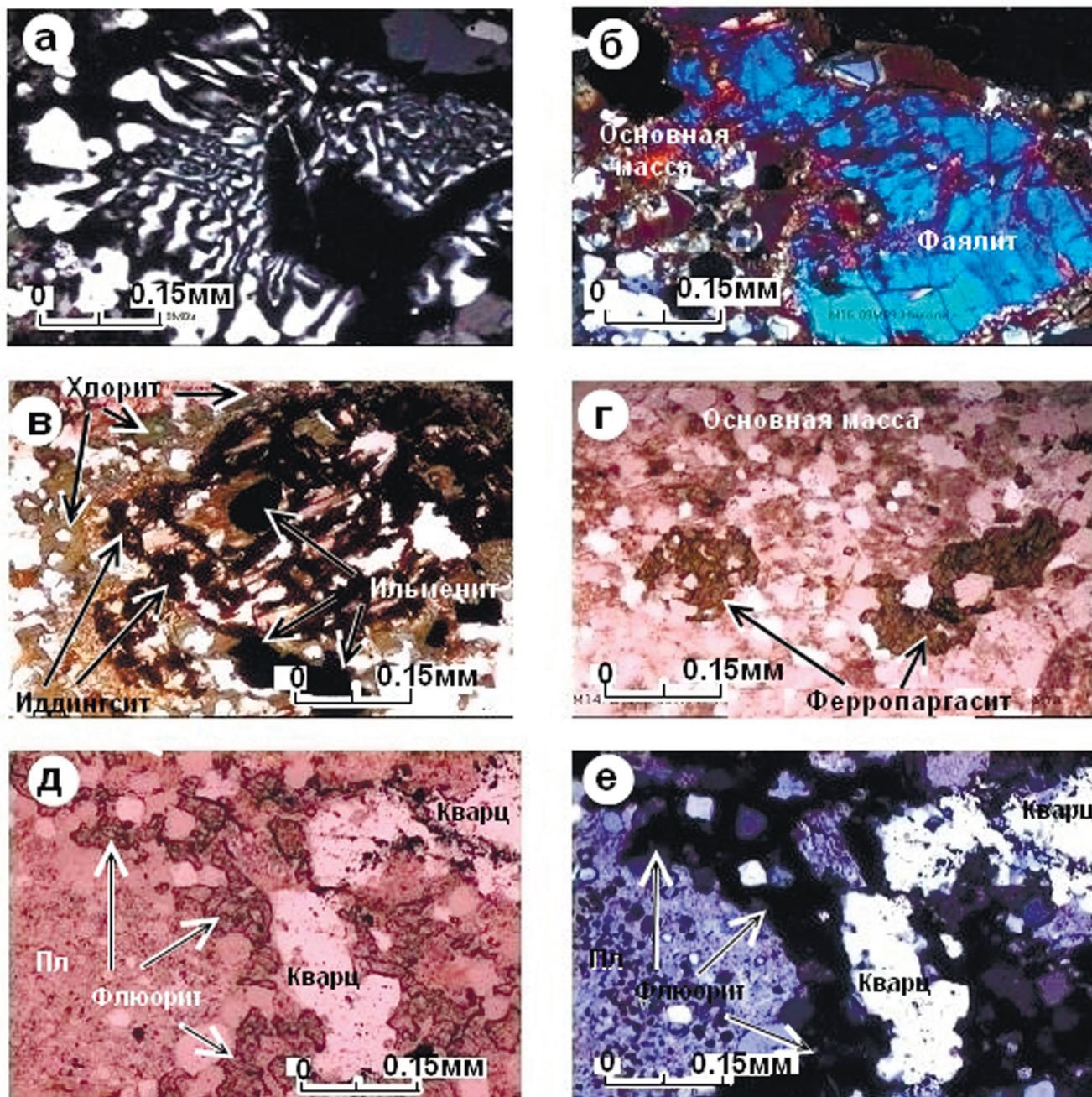


Рис. 5. Петрографические особенности фаялитсодержащих лейкогранитов Четсуйского интрузива.

а – микропегматитовая основная масса при двух николях, шлиф № 09М-09; б – реликты фаялита при двух николях, шлиф № 09М-09; в – зональное строение псевдоморфозы полностью разложенного фаялита, внешняя зона хлоритовая, внутренняя – иддингситовая, содержащая включения вторичных окислов железа и титана, шлиф № 09М-07, николи //; г – микропорфировые выделения амфибола (ферропаргасита) в мелкозернистой кварц-полевошпатовой основной массе породы, шлиф № 09М-11, николи //; д, е – сетчатая структура в плагиоклазе и флюоритовая кайма вокруг него – продукты кислотного воздействия высокофтористых флюидов в апикальных частях интрузивной камеры, д – при одном, е – при двух николях, шлиф № 71М-07.

евые земли над цериевыми. Причина этого явления, вероятно, кроется в глубинных процессах анатексиса и метамагматизма, связанных с эволюцией состава глубинных (подкорковых) флюидно-магматических систем.

В породах фаялитсодержащей онгонит-лейко-гранитовой ассоциации превышающие кларки содержания имеют Rb, Cs, Nb, W, U, Th, Hf, Se, As, Au, РЗЭ и др., что указывает на геохимическую специализацию магма-

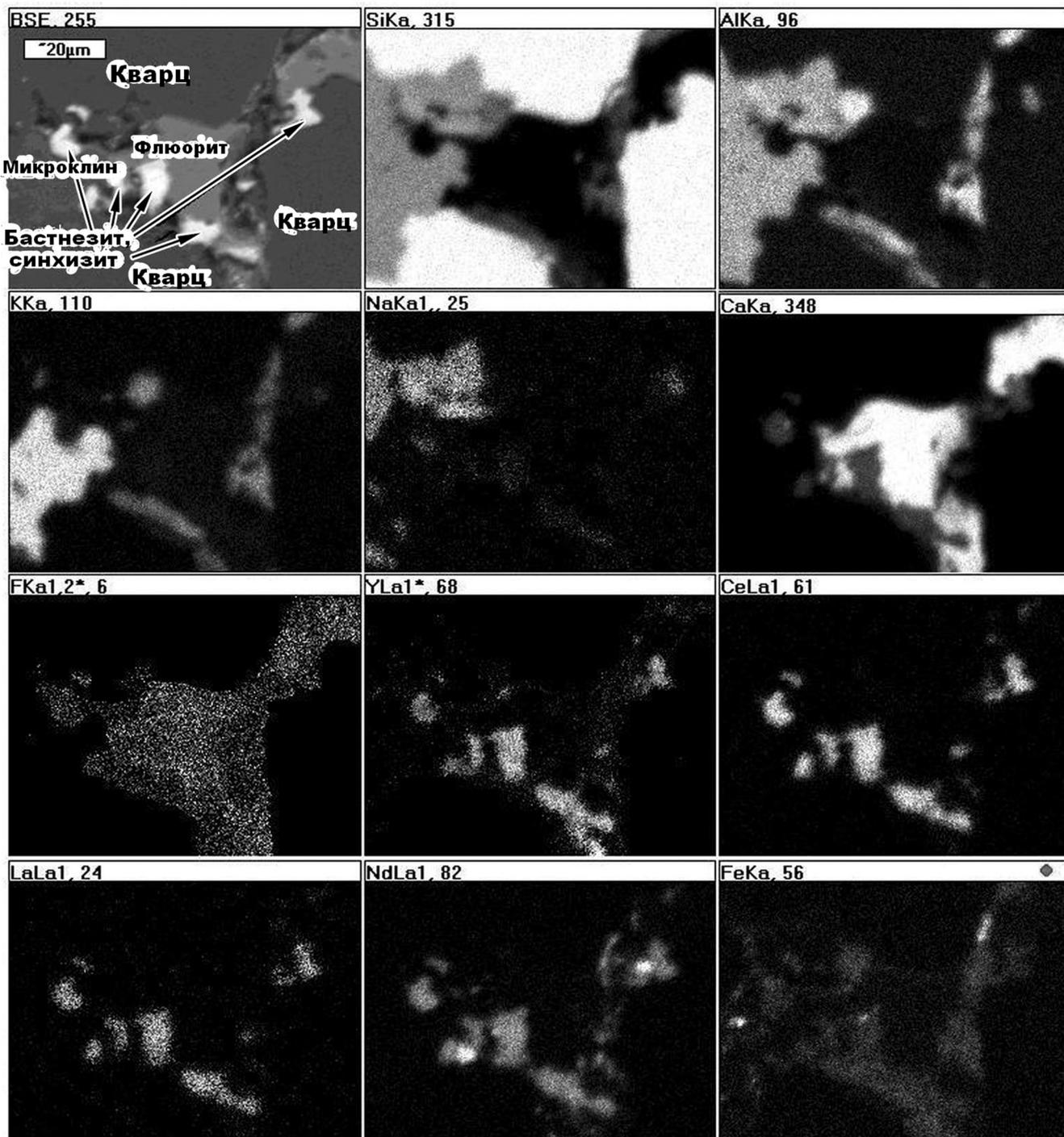


Рис. 6. Размещение редкоземельных карбонатов (бастнезит, синхизит) внутри и вокруг обособлений флюорита. Фаялитсодержащий лейкогранит, Четсуйский интрузив. Шлиф № 63М-07. Растровый снимок получен с помощью электронного микроанализатора Jeol-8800R.

тического расплава на редкие металлы и золото. Близкий качественный и количественный набор элементов-примесей указывает на возможное единство источника расплавов фаялитсодержащих онгонитов и лейкогранитов (табл. 9, рис. 8, 9).

По химизму и петрохимическим особенностям фаялитсодержащие онгониты и редкометалльные лейкограниты Чаткало-Кураминского региона соответствуют эталонным породам (табл. 10). Они являются кислыми ($\text{SiO}_2 = 68.33\text{--}71.00\%$), ультракислыми ($\text{SiO}_2 = 73.62\text{--}76.90\%$), субщелочными (Na_2O

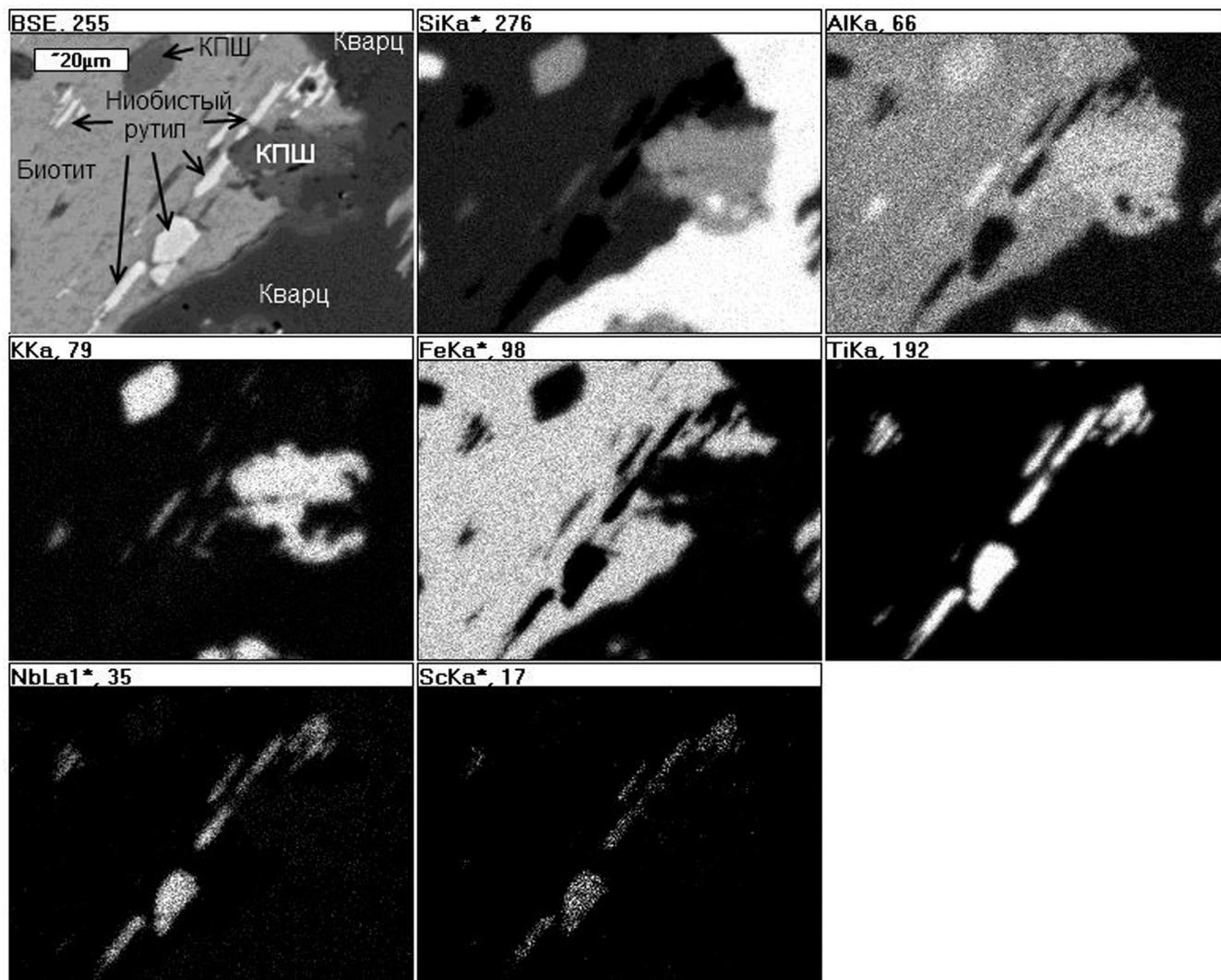


Рис. 7. Размещение удлиненных, призматических и игольчатых микровключений ниобистого рутила в хлоритизированном биотите.

Фаялитсодержащий лейкогранит, Четусый интрузив. Шлиф № 63М-07. Растровый снимок получен с помощью электронного микроанализатора Jeol-8800R.

+ K₂O = 8.84–8.86%) и щелочными (Na₂O + K₂O = 9.06–9.70%), весьма высокоглиноземистыми – $al' = 2.70–5.70$ породами калиево-натриевой петрохимической серии (Na₂O/K₂O = 0.64–0.77). На классификационных диаграммах SiO₂–(Na₂O + K₂O) [26] и *Ab–Q–Or* [28] они размещаются в полях онгонитов, топазовых риолитов, литий-фтористых лейкогранитов (рис. 10).

Несмотря на наличие вышеуказанных черт сходства фаялитсодержащих онгонитов и лейкогранитов Четсу-Шавкатлинской площади, есть специфические черты состава (минерального, химического) этих пород и слагающих их однотипных минералов. Судя по данным химических анализов, онгониты менее кремнекислые, в них несколько больше глинозема и кальция, чем в лей-

когранитах (соответственно, в %): SiO₂ – 69.67 и 74.79; TiO₂ – 0.33 и 0.16; Al₂O₃ – 13.88 и 11.22; Fe₂O₃ – 1.62 и 0.77; FeO – 1.82 и 1.07; MnO – 0.03 и 0.02; MgO – 0.88 и 0.64; CaO – 1.45 и 0.63; Na₂O – 4.06 и 4.49; K₂O – 5.51 и 5.40; P₂O₅ – 0.05 и 0.02; сумма – 99.30 и 99.21. Эти породы очень схожи по количеству суммы щелочей (9.57 и 9.89%) и соотношению натрия к калию (0.74 и 0.83), указывающему на незначительное преобладание калия над натрием. Онгониты характеризуются также и большим значением коэффициента фемичности (FeO + Fe₂O₃ + MnO + MgO + TiO₂ = 4.66 и 2.66) при резком преобладании железа над магнием. Отличия в петрохимии пород четко отражены и в данных по их нормативному составу (%): кварц – 20.57 и 31.02; альбит – 35.44 и

Таблица 9. Содержания и кларк-концентрации малых элементов в породах фаялитсодержащей онгонит-лейкогранитовой ассоциации Чаткало-Кураминского региона, г/т

| Элементы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 (3) | 6 | 7 | 8 | 9 | 10(3) | 11 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Rb | 150 | 200.5 | 196.0 | 184.5 | 194.0 | 1.29 | 318.5 | 245.0 | 202.5 | 255.0 | 1.7 |
| Sr | 340 | 80.6 | 81.3 | 69.3 | 77.06 | 0.23 | 24.7 | 39.7 | 62.0 | 42.13 | 0.12 |
| Cs | 3.7 | 7.2 | 12 | 4.3 | 7.8 | 2.11 | 4.1 | 4.6 | 3.7 | 4.1 | 1.11 |
| Th | 13 | 27.7 | 41.5 | 11 | 26.7 | 2.05 | 40.0 | 32.7 | 28.6 | 33.76 | 2.60 |
| U | 2.5 | 9.6 | 4.3 | 5.9 | 6.6 | 2.64 | 12.3 | 6.7 | 7.7 | 8.9 | 3.56 |
| Hf | 1.0 | 13.4 | 21.6 | 6.7 | 13.9 | 13.9 | 6.2 | 6.7 | 8.7 | 7.2 | 7.2 |
| Nb | 20 | 27.5 | 28.1 | 29.5 | 28.4 | 1.42 | 37.7 | 29.2 | 24.5 | 30.5 | 1.52 |
| Ta | 2.5 | 1.57 | 2.42 | 0.78 | 1.59 | 0.64 | 2.61 | 1.73 | 1.75 | 2.03 | 0.81 |
| Sc | 10 | 8.2 | 11.4 | 4.2 | 7.9 | 0.79 | 2.8 | 3.2 | 4.4 | 3.47 | 0.35 |
| W | 1.3 | 7.8 | 2.7 | 16.1 | 8.9 | 6.85 | 13.2 | 12.3 | 11.7 | 12.4 | 9.54 |
| Se | 0.05 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 2.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 2.0 |
| Sb | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 0.01 | 0.05 | 1.0 | 0.6 | 1.1 | 0.09 | 0.9 | 1.8 |
| As | 1.7 | 12.3 | 11.9 | 1.9 | 8.7 | 5.12 | 5.6 | 7.5 | 7.3 | 6.8 | 4.0 |
| Au | 0.0043 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 4.65 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 4.65 |
| Co | 18 | 1.2 | 1.1 | 0.08 | 1.03 | 0.06 | 1.1 | 0.07 | 1.2 | 0.97 | 0.05 |
| Cr | 83 | 1.0 | 1.0 | 0.1 | 0.7 | 0.01 | 14.0 | 1.0 | 3.8 | 6.3 | 0.08 |
| La | 3.7 | 77.2 | 72.4 | 70.7 | 74.43 | 20.12 | 73.3 | 72.7 | 88.8 | 78.27 | 21.15 |
| Ce | 70 | 151 | 131 | 60 | 124 | 1.77 | 120 | 129 | 160 | 136.93 | 1.96 |
| Sm | 8.0 | 9.1 | 10.6 | 10.4 | 10.03 | 1.25 | 12.7 | 10.6 | 10.7 | 11.33 | 1.42 |
| Eu | 1.3 | 1.12 | 2.14 | 0.79 | 1.35 | 1.04 | 0.37 | 0.31 | 1.03 | 0.57 | 0.44 |
| Tb | 4.3 | 0.76 | 1.05 | 0.43 | 0.75 | 0.17 | 0.81 | 1.4 | 0.10 | 0.77 | 0.18 |
| Yb | 0.33 | 5.2 | 7.5 | 2.0 | 4.9 | 14.85 | 6.4 | 4.7 | 4.30 | 5.13 | 15.54 |
| Lu | 0.80 | 0.68 | 1.20 | 0.32 | 0.73 | 0.91 | 0.88 | 0.64 | 0.57 | 0.70 | 0.87 |
| *REE | 88.43 | 245.06 | 225.89 | 144.64 | 216.19 | 2.44 | 214.46 | 219.35 | 265.5 | 233.7 | 2.63 |

Примечание: Содержания Rb, Sr, Nb в породах определены рентгеноспектральным, остальных элементов – инструментальным нейтронно-активационным методами. Анализы проведены в лаборатории комплексной геолого-технологической службы ГП НПЦ “Геология урана и редкоземельных металлов”. 1 – распространенность элементов в горных породах (2 части кислых пород + 1 часть основных пород, по [16]). 2–6 – фаялитсодержащие онгониты Ангренской дайки: 2 – проба 09-03; 3 – проба 09-04; 4 – проба 1М-07; 5 – среднее содержание по трем пробам; 6 – средние значения кларк-концентрации элементов в породах; 7–11 – фаялитсодержащие лейкограниты Четсуйского интрузива: 7 – проба 09М-02; 8 – проба 09М-09; 9 – проба 09М-14; 10 – среднее содержание по трем пробам; 11 – средние значения кларк-концентрации элементов в породах. *REE – суммарное содержание семи редкоземельных элементов в породах.

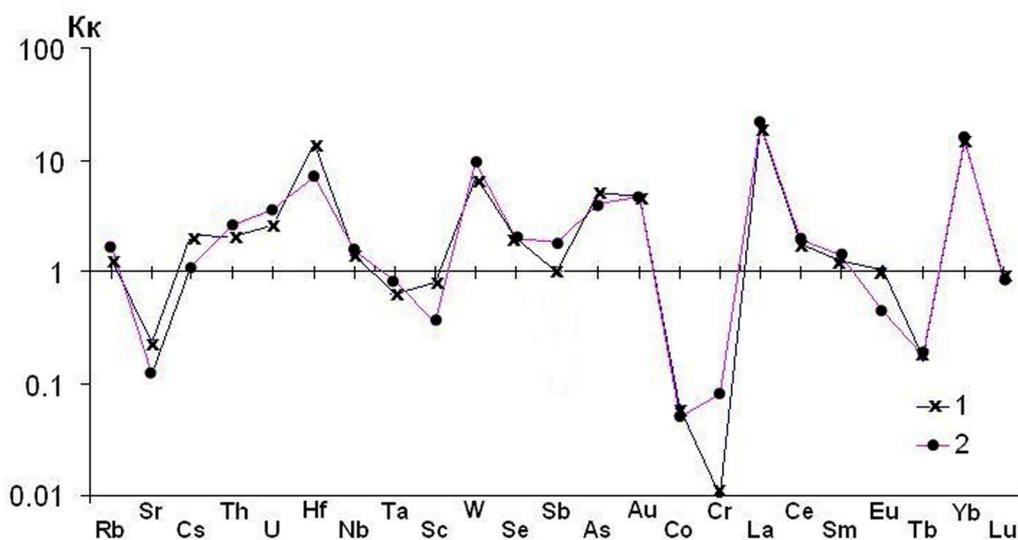


Рис. 8. Кларк-концентрации (Кк) малых элементов.

1 – в фаялитсодержащих онгонитах Ангренской дайки, 2 – в фаялитсодержащих лейкогранитах Четсуйского интрузива.

Таблица 10. Онгониты, онгориолиты, литий-фтористые лейкограниты и их петрохимические коэффициенты

| Компоненты, коэффициенты | 1 (2) | 4 (1) | 3 (4) | 4 | 5 | 6 (6) | 7 (26) | 8 (1) | 9 (2) | 10 (30) | 11 (4) | 12 (5) | 13 (2) | 14 | 15 | 16 | 17 (1) | 18 (6) | 19 (5) | 20 (4) |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------------|--------|--------|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 74.30 | 72.00 | 75.00 | 71.00 | 68.33 | 73.11 | 74.50 | 70.78 | 74.28 | 71.11 | 74.16 | 75.62 | 74.00 | 76.60 | 74.90 | 73.62 | 76.14 | 74.08 | 74.61 | 74.27 |
| TiO ₂ | 0.13 | 0.37 | 0.22 | 0.30 | 0.35 | 0.03 | 0.13 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.07 | 0.14 | 0.29 | 0.01 | 0.04 | 0.03 | 0.06 |
| Al ₂ O ₃ | 11.94 | 14.00 | 12.11 | 13.63 | 14.14 | 15.27 | 13.97 | 16.78 | 14.33 | 16.54 | 14.95 | 12.61 | 12.76 | 11.00 | 12.26 | 11.93 | 13.23 | 14.66 | 13.75 | 14.70 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.30 | 0.84 | 0.30 | 1.38 | 1.86 | 0.07 | 0.39 | 0.27 | 0.41 | 0.34 | 0.12 | 0.23 | 0.05 | 0.88 | 0.83 | 0.85 | 0.07 | 0.33 | 0.34 | 0.35 |
| FeO | 1.15 | 1.15 | 1.31 | 1.69 | 1.94 | 0.42 | 1.00 | 0.26 | 0.50 | 0.30 | 0.86 | 1.15 | 0.93 | 0.57 | 1.00 | 1.04 | 0.78 | 0.78 | 0.49 | 0.26 |
| MnO | 0.03 | 0.01 | 0.12 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 0.18 | 0.03 | 0.16 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.08 | 0.05 | 0.12 |
| MgO | 0.75 | 0.95 | 0.14 | 0.32 | 1.44 | 0.05 | 0.14 | 0.20 | 0.06 | 0.25 | 0.15 | 0.06 | 0.30 | 0.48 | 0.64 | 0.80 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| CaO | 0.98 | 0.98 | 0.74 | 1.00 | 1.90 | 0.48 | 0.81 | 0.34 | 0.31 | 0.95 | 0.82 | 0.90 | 0.30 | 0.54 | 0.55 | 0.90 | 0.31 | 0.14 | 0.60 | 0.20 |
| Na ₂ O | 3.47 | 6.28 | 4.80 | 4.00 | 4.11 | 4.41 | 3.65 | 5.24 | 4.70 | 3.25 | 3.76 | 3.88 | 6.18 | 3.56 | 3.44 | 3.56 | 3.91 | 3.29 | 3.50 | 5.00 |
| K ₂ O | 4.36 | 1.42 | 5.20 | 5.70 | 5.32 | 4.74 | 4.95 | 3.31 | 4.47 | 5.35 | 4.57 | 4.51 | 3.00 | 5.30 | 5.40 | 5.50 | 4.55 | 4.12 | 4.87 | 3.75 |
| P ₂ O ₅ | 0.05 | 0.08 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0.02 | 0.06 | 0.10 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| Na ₂ O + K ₂ O | 7.83 | 7.70 | 10.00 | 9.70 | 9.43 | 8.88 | 8.60 | 8.55 | 9.17 | 8.60 | 8.33 | 8.39 | 9.18 | 8.86 | 8.84 | 9.06 | 8.46 | 7.41 | 8.37 | 8.75 |
| Na ₂ O/K ₂ O | 0.80 | 4.42 | 0.92 | 0.70 | 0.77 | 0.93 | 0.74 | 1.58 | 1.05 | 0.61 | 0.82 | 0.86 | 2.06 | 0.67 | 0.64 | 0.65 | 0.86 | 0.80 | 0.72 | 1.33 |
| Fe ₂ O ₃ /FeO | 0.26 | 0.73 | 0.23 | 0.82 | 0.96 | 0.17 | 0.39 | 1.04 | 0.82 | 1.13 | 0.14 | 0.20 | 0.05 | 1.54 | 0.83 | 0.82 | 0.09 | 0.42 | 0.69 | 1.35 |
| al' | 5.43 | 4.76 | 6.92 | 4.02 | 2.70 | 28.28 | 9.13 | 22.92 | 25.14 | 20.68 | 13.23 | 8.76 | 9.97 | 5.70 | 4.96 | 4.43 | 15.03 | 12.75 | 15.63 | 22.27 |
| f' | 2.33 | 3.31 | 2.09 | 3.73 | 5.60 | 0.57 | 1.66 | 0.91 | 0.99 | 0.89 | 1.13 | 1.44 | 2.31 | 2.01 | 2.63 | 3.00 | 0.89 | 1.19 | 0.90 | 0.84 |
| Петрохимические коэффициенты | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Нормативные минералы, % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| кварц | 34.79 | 26.97 | 28.45 | 23.12 | 18.09 | 28.33 | 32.01 | 27.30 | 28.90 | 29.73 | 32.87 | 33.53 | 27.42 | 35.16 | 31.78 | 29.63 | 35.12 | 39.76 | 34.43 | 30.43 |
| анортит | 4.08 | 4.31 | — | 2.35 | 4.36 | 2.26 | 3.80 | 1.24 | 1.35 | 4.30 | 3.29 | 3.54 | — | — | 1.97 | 0.35 | 1.41 | 0.55 | 2.84 | 0.83 |
| альбит | 30.52 | 55.39 | 33.71 | 34.80 | 36.01 | 38.13 | 31.35 | 46.40 | 40.43 | 28.50 | 32.47 | 33.75 | 50.54 | 27.65 | 29.70 | 30.90 | 33.70 | 29.17 | 30.42 | 43.27 |
| ортоклаз | 27.39 | 8.97 | 31.80 | 35.40 | 33.34 | 29.33 | 30.43 | 20.96 | 27.49 | 33.48 | 28.18 | 27.75 | 18.72 | 32.70 | 33.34 | 34.24 | 27.99 | 26.11 | 30.29 | 23.23 |
| нагр-силикат | — | — | 1.41 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.60 | 0.41 | — | — | — | — | — | — |
| корунд | — | 0.37 | — | — | — | 1.37 | 0.78 | 2.83 | 0.84 | 2.60 | 1.73 | — | — | — | — | — | 0.89 | 3.17 | 1.11 | 1.42 |
| диопсид | 0.29 | — | — | 2.42 | 1.58 | 3.02 | — | — | — | — | — | 0.54 | 0.92 | 1.69 | 0.40 | 2.45 | — | — | — | — |
| гиперстен | 2.34 | 2.94 | 0.43 | 1.64 | 3.75 | 0.41 | 1.14 | 1.01 | 0.73 | 1.14 | 1.04 | 0.84 | 1.05 | 1.30 | 2.21 | 1.47 | 0.64 | 0.89 | 0.66 | 0.58 |
| акмит | — | — | 1.15 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.70 | 0.98 | — | — | — | — | — | — |
| апатит | 0.10 | 0.16 | — | 0.06 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.14 | 0.04 | 0.12 | 0.19 | — | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.12 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.04 |
| ильменит | 0.14 | 0.41 | 0.23 | 0.32 | 0.38 | 0.03 | 0.14 | — | 0.02 | — | — | — | 0.02 | 0.07 | 0.15 | 0.31 | 0.01 | 0.04 | 0.03 | 0.06 |
| магнетит | 0.36 | 0.49 | — | 0.74 | 0.91 | 0.12 | 0.33 | 0.13 | 0.21 | 0.16 | 0.24 | 0.34 | — | — | 0.44 | 0.45 | 0.21 | 0.28 | 0.20 | 0.14 |

Примечание. 1 – онгориолит, Шавазсайское месторождение [9]; 2 – онгонит, Саргандонское месторождение [14]; 3 – целочный (эгириновый) онгориолит, Ерташсайский нект [10]; 4–5 – фаялитсодержащий онгонит, Антреская дайка: 4 – проба 09М-07, 5 – проба 1М-07; 6 – онгонит-аплит, Австралия [38]; 7 – топазовый риолит, Юта, США [33]; 8 – онгонит, Аризона, США [39]; 9 – онгориолит, Финляндия [37]; 10 – онгонит, “Амазонитовая дайка”, месторождение Онгон-Хайрхан, Монголия [21]; 11 – онгориолит, Бага-Газринский массив редкометалльных гранитов, Монголия [21]; 12 – редкометалльный лейкогранит, Саргандонское месторождение [14]; 13 – лейкогранитовая дайка, Келенчек-Ташсайская площадь [15]; 14–16 – редкометалльный лейкогранит, Чегуейский интрузив: 14 – проба 09М-05, 15 – проба 09М-09, 16 – проба 09М-17; 17 – литий-фтористый гранит, Австралия [38]; 18 – редкометалльный лейкогранит, массив Мангобера, Бразилия [41]; 19 – литий-фтористый гранит, Финляндия [37]; 20 – альбит-лепидоловый гранит, Харгуйский массив, Прибайкалье [6, 7]. Цифры в скобках – количество анализов. al' = Al₂O₃/(Fe₂O₃ + FeO + MgO) (коэффициент глиноземистости), f' = Fe₂O₃ + FeO + MnO + MgO + TiO₂ (коэффициент фемичности).

28.24; анортит – 3.33 и 0.00; ортоклаз – 34.38 и 33.31; диопсид – 2.31 и 1.99; гиперстен – 2.70 и 1.78; магнетит – 0.31 и 0.00. Обоим типам пород свойственно отсутствие нормативного корунда. Породы этого химического и нормативного минерального состава близки данным по фаялитсодержащим онгонитам, онгориолитам и гранитоидам, приведенным в литературе. Возможно, специфичность состава онгонитов является следствием кристаллизации расплава, не испытавшего эманационной дифференциации и содержащего чужеродные (габброиды) и родственные (расплавные) включения.

Охарактеризуем химический состав однотипных минералов онгонитов и лейкогранитов Четсу-Шавкатлинской площади. В табл. 3–8 приведены результаты точечных микрозондовых определений состава минералов на электронном микроанализаторе Jeol-8800R, произведенных в ИГиГ АН РУз У.Д. Мамарозикувым.

Лейкограниты Четсуйского интрузива являются следствием метамагматического преобразования остаточного расплава риолитов Бабайтаудорского лополита под воздействием фронтальных

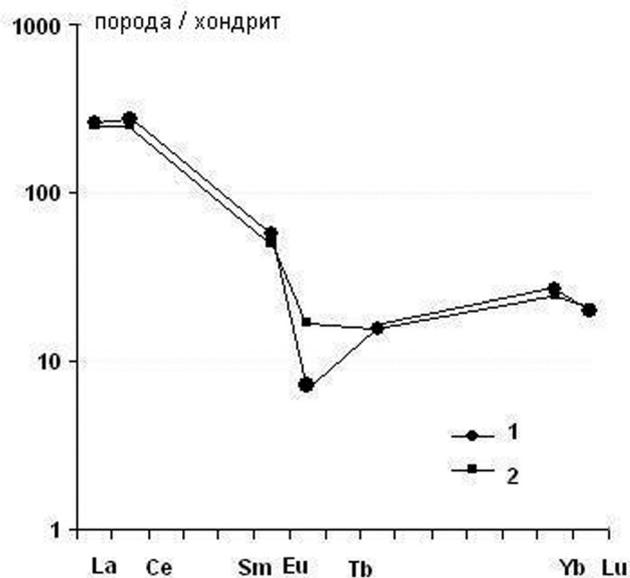


Рис. 9. Распределение редкоземельных элементов.

1 – в фаялитсодержащих онгонитах Ангренской дайки, 2 – в фаялитсодержащих лейкогранитах Четсуйского интрузива (2).

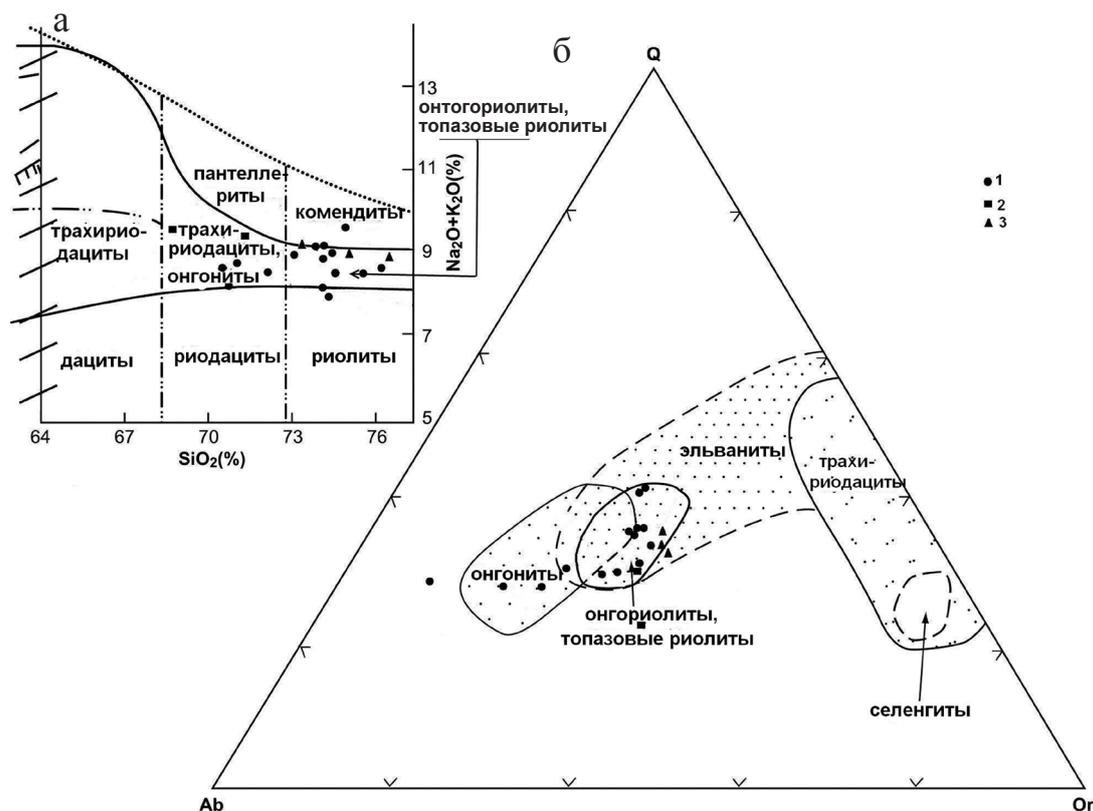


Рис. 10. Размещение онгонитов, онгориолитов и их интрузивных аналогов – Li-F-редкометалльных лейкогранитов Чаткало-Кураминского региона (Западный Тянь-Шань) на классификационных диаграммах $SiO_2-(Na_2O + K_2O)$ [26] (а) и $Ab-Q-Or$ [28] (б).

1 – онгониты, онгориолиты и их интрузивные аналоги – Li-F-редкометалльные лейкограниты Чаткало-Кураминского региона; 2 – фаялитсодержащие онгониты Ангренской дайки; 3 – фаялитсодержащие лейкограниты Четсуйского интрузива.

флюидопотоков, исходивших из онгонитового расплава. Возможно, такое предположение как-то объясняет пирометаморфическое изменение риолитов до граносиенит-порфириров, наблюдаемых в экзоконтактовом ореоле Ангренской дайки, а также гипсометрически более высокое расположение интрузивной камеры Четсуйского массива относительно онгонитов Ангренской дайки.

Важное петрогенетическое значение имеет состав фаялитов в онгонитах и лейкогранитах. Наличие титанистой разновидности фаялита, ферроавгита в онгонитах, незначительное количество TiO_2 в фаялитах лейкогранитов (табл. 3) требуют объяснения. Вероятно, это обусловлено разложением оливина в лейкогранитах и замещением его серпентином, титаномagnetитом и ильменитом. Присутствие в обоих типах пород ферропаргасита ($Mg/Mg + Fe < 0.3$) с содержанием TiO_2 от 0.43 до 1.46% свидетельствует об исходной обогащенности онгонитового расплава железом и титаном. Это предположение подтверждается наличием в онгонитах чевкинита (табл. 4). Кроме этого, в ферропаргаситах микронзондовым анализом определено содержание Cl от 0.27 до 0.87%, указывающие на участие мантийных флюидов в петрогенезисе пород ассоциации.

Главным редкоземельным минералом рассматриваемых пород является ортит $Nd-La-Ce$ состава. Будучи обогащенными легкими РЗЭ, ортиты, кроме того, имеют разновидности, содержащие фтор, фосфор, торий и уран. Наличие летучих компонентов в ортитах больше свойственно лейкогранитам (табл. 4). В онгонитах и лейкогранитах установлен одинаковый набор фосфатов, содержащих редкоземельные элементы и флюорит, имеющий примесь легких РЗЭ и иттербия (табл. 5). Таким образом, по содержанию силикатов, фосфатов, РЗЭ и флюорита выявляется аналогия онгонитов и лейкогранитов (табл. 4, 5).

Онгониты и лейкограниты характеризуются и присутствием в них карбонатов редкоземельных элементов – лантанита, синхизита, бастнезита с преобладающим количеством в них церия над лантаном, неодимом и незначительным содержанием тяжелых РЗЭ. Наличие сидерита указывает на возможное вторичное образование вышеназванных минералов (табл. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование микроминерального состава онгонитов и лейкогранитов позволило получить оригинальные данные, свидетельствующие как о возможной рудоносности, так и о петрогенезисе этих пород. В лейкогранитах и онгонитах установлены силикаты вольфрама, меди, цинка, теллура, олова, РЗЭ, минералы ниобия, тантала, тория и урана (табл. 8), сульфиды железа, мышьяка, свинца, цинка и металлические сплавы (табл. 6).

Примечательным является присутствие в сфалерите, галените молибдена, а в последнем минерале таллия (3.77–4.34%). Наличие металлических соединений $Fe-As-Mo$, $Fe-Dy$, $Ni-Al$, $Cu-Zn$ (с Re) в Ангренской дайке и Четсуйском интрузиве позволяет предполагать возможное участие глубинных (подкорковых) флюидонасыщенных расплавов при формировании магм фаялитсодержащих онгонитов и лейкогранитов. Формирование и локализация редкометалло-редкоземельной минерализации в надинтрузивной зоне Ангренской дайки и Четсуйского интрузива связывается с интенсивным оттоком летучих и рудных компонентов из фронтальной части рудогенерирующего флюидонасыщенного расплава онгонитов и лейкогранитов. Подобная модель формирования редкометалльных месторождений из высокофтористых кислых магм обоснована экспериментами [1, 8, 18, 19].

Таким образом, при ярко выраженной акцессорно-минеральной и геохимической специализации онгонит-лейкогранитовой ассоциации на редкоземельные элементы с ней могут иметь генетическую связь известные в регионе месторождения редких металлов (Rb, Cs, Nb, W, Th, U) и золота.

Приведенные петрографические, минералогическо-геохимические материалы свидетельствуют о значительной роли глубинных (подкорковых) рудо- и магмогенерирующих флюидов в формировании онгонитового (лейкогранитового) расплава. По исходной водонасыщенности магма относится к “сухой” в понимании Г.Б. Ферштатера и Н.С. Бородиной [29]. В соответствии с наличием акцессорных минералов и концентрациями в них рудогенных элементов находятся содержания редких и редкоземельных элементов в самих породах ассоциации. Характер распределения РЗЭ указывает на проявление глубокой дифференциации и насыщенность расплава, как легкими, так и тяжелыми лантаноидами. Происхождение магм фаялитсодержащих онгонитов и лейкогранитов представляется как следствие взаимодействия палингенно-анатектических коровых гранитных и аляскитовых магм с глубинными флюидами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов С.С.* Моделирование процесса фракционирования РЗЭ в системе кислый расплав–фторидно-хлоридный флюид // Докл. АН. 2001. Т. 6, № 375. С. 798–800.
2. *Алексеев В.И.* О проявлении субвулканического онгонитового магматизма в восточном складчатом обрамлении Сибирского кратона // Мат-лы IV Всероссийск. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Т. 1. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 241–244.
3. *Алексеев В.И., Марин Ю.Б.* Геодинамические условия онгонитового магматизма Азии // Магматизм и мета-

- морфизм в истории Земли: тез. XI Всерос. петрограф. совещ. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2010. С. 39–40.
4. *Андреева И.А., Коваленко В.И.* Редкометалльные силикатные, силикатно-солевые и солевые магмы // 3rd Biennial conf. ACROFI – III and 14th Intern. conf. on thermobarogeochemistry (TBG XIV). Russian Abstracts. Novosibirsk: IGM, 2010. P. 2–3.
 5. *Антипин В.С., Перепелов А.Б.* Геохимические связи процессов формирования батолитов и редкометалльно-гранитных интрузивно-дайкиловых поясов в ареалах развития фанерозойского гранитоидного магматизма / Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов. Улан-Удэ, 2008. <http://geo.stbur.ru/info/granites/st/st014.html>
 6. *Антипин В.С., Савина Е.А., Митичкин М.А.* Хамар-Дабанская провинция редкометалльных гранитов и онгонитов с Li, Ta, Sn, W минерализацией (Прибайкалье) // Вестник ГеоИГУ. 2003. Вып. 2. С. 157–162.
 7. *Антипин В.С., Савина Е.А., Митичкин М.А. и др.* Редкометаллоносные литий-фтористые граниты, онгониты и топазиты Южного Прибайкалья // Петрология. 1999. Т. 7, № 2. С. 141–155.
 8. *Анфилогов В.Н., Глюк Д.С.* Взаимодействие фтора с гранитоидным расплавом при давлении 100 кг/см² (экспериментальные данные) // Формационное и фаціальное расчленение гранитоидов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. С. 165–174.
 9. *Ахунджанов Р.* Субвулканические аналоги редкометалльных лейкогранитов Чаткало-Кураминского региона (Срединный Тянь-Шань) // Узб. геол. журн. 1997. № 5. С. 29–39.
 10. *Ахунджанов Р., Мамарозиков У.Д., Сайдыганиев С.С. и др.* Щелочные онгориолиты Ерташская (Алмалык-Ангренский горнорудный район, Срединный Тянь-Шань) // Геология и минеральные ресурсы. 2006. № 6. С. 11–15.
 11. *Ахунджанов Р., Мамарозиков У.Д., Сайдыганиев С.С. и др.* Редкометалльная специализация внутриплитного магматизма Чаткало-Кураминского региона (Срединный Тянь-Шань) // Актуальные проблемы геологии и геофизики. Т. 1. Ташкент: Фан, 2007. С. 94–100.
 12. *Ахунджанов Р., Мамарозиков У.Д., Сайдыганиев С.С. и др.* Редкометалльные рудно-магматические системы Западного Тянь-Шаня (Узбекистан) // Рудогенезис. Миасс–Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 19–22.
 13. *Ахунджанов Р., Мамарозиков У.Д., Суяндикова Г.М.* Ассоциации редкометалльных кислых интрузий (Чаткало-Кураминский регион, Западный Тянь-Шань). Ташкент: Фан, 2009. 165 с.
 14. *Ахунджанов Р., Усманов А.И., Сайдыганиев С.С.* Редкометалльные гранитоиды Саргардонского интрузива (Чаткальские горы. Узбекская ССР) // Узб. геол. журн. 1989. № 6. С. 21–31.
 15. *Ахунджанов Р., Юсупов Р.Г., Мамарозиков У.Д. и др.* Петрогенезис и редкометаллоносность лейкогранитов (Чаткало-Кураминский регион, Западный Тянь-Шань) // Геология и минеральные ресурсы. 2007. № 4. С. 133–144.
 16. *Виноградов А.П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
 17. *Владимиров А.Г., Анненкова И.Ю., Антипин В.С.* Онгонит-эльвановый магматизм Южной Сибири // Литосфера. 2007. № 4. С. 21–40.
 18. *Граменицкий Е.Н., Щекина Т.И., Девятова В.Н.* Фазовые отношения во фторсодержащих гранитной и нефелин-сиенитовой системах и распределение элементов между фазами. М.: ГЕОС, 2005. 118 с.
 19. *Зарайский Г.П., Аксюк А.М.* Петрогенезис редкометалльных известково-щелочных гранитов. Происхождение магматических горных пород // Петрография XXI века: мат-лы Междунар. (X Всерос.) петрограф. совещ. Т. 2. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 93–95.
 20. *Канцель А.В., Каратаев М.А., Лаверов Н.П.* Геологическое строение и история формирования Бабайтагского субвулканического массива (Средняя Азия) // Геология липаритовой формации районов Средней Азии. М.: Наука, 1972. С. 108–112.
 21. *Коваленко В.И., Коваленко Н.И.* Онгониты (топазсодержащие кварцевые кератофиры) – субвулканические аналоги редкометалльных литий-фтористых гранитов. М.: Наука, 1976. 127 с.
 22. *Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолюк В.В. и др.* Источники магм и изотопная (Sr и Nd) эволюция магм редкометалльных Li-F гранитоидов // Петрология. 1999. Т. 7, № 4. С. 401–429.
 23. *Коржинский Д.С.* Метамагматические процессы // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1973. № 12. С. 3–6.
 24. *Мамарозиков У.Д.* Потенциальная рудоносность онгонит-лейкогранитовой ассоциации Чаткало-Кураминского региона (Западный Тянь-Шань) // Докл. АН РУз. 2010. № 5. С. 46–51.
 25. *Мамарозиков У.Д., Ахунджанов Р., Сайдыганиев С.С. и др.* Редкометалльная фаялитсодержащая онгонит-лейкогранитовая ассоциация Узбекистана // Геология и минеральные ресурсы. 2011. № 6. С. 19–27.
 26. Магматические горные породы. Кислые и средние породы. Т. 4. / Под ред. О.А. Богатикова. М.: Наука, 1987. 374 с.
 27. Минералы Узбекистана Т. 3 / Под ред. С.Т. Бадалова. Ташкент: Фан, 1976. 372 с.
 28. *Сырицо Л.Ф., Волкова Е.В., Баданина Е.В. и др.* Высокоспециализированные ультракалиевые трахидациты в ореоле Орловского массива Li-F гранитов в Восточном Забайкалье и проблемы их связи с редкометалльными гранитами // Петрология. 2005. Т. 13, № 1. С. 105–109.
 29. *Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С.* Петрология магматических гранитоидов (на примере Урала). М.: Наука, 1975. 288 с.
 30. *Almееv R., Holtz F., Kushel L. et al.* Experimental constraints on rhyolite magma genesis, Yellowstone hotspot // Goldschmidt Conference Abstracts. 2009. A. 30.
 31. *Bowen N.L., Shärer J.F.* Crystallization Equilibrium in Nepheline-Albite-Silica Mixtures with Fayalite // J. Geol. 1938. V. XLVI, № 3. P. 1.
 32. *Bucher K., Frost B.R.* Fluid Transfer in High-grade Metamorphic Terrains Intruded by Anorogenic Granites: The Thor Range, Antarctica // J. Petrol. 2006. V. 47, № 3. P. 567–593.
 33. *Christiansen E.H., Bikin J.V., Sherdian M.F. et al.* Geochemical exhalation of topaz rhyolites from the Tomas

- Range and Spor Mountain, Utah // *Amer. Miner.* 1984. V. 69. P. 223–236.
34. Christiansen E.H., Burt D.M., Sherdian M.F. et al. Petrogenesis of topaz rhyolites // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1983. V. 80. P. 16–30.
 35. Cuney M., Marignac C., Weisbrod A. The beauvoir topaz-lepidolite albite granite (Massif Central, France): the disseminated magmatic Sn-Li-Ta-Nb-Be mineralization // *Econ. Geol.* 1992. V. 87. P. 1766–1794.
 36. Grebennikov A.V., Maksimov S.O. Fayalite rhyolites and a zoned chamber of the Paleocene Yakutinskaya volcanic depression in Primorye, Russia // *J. Mineral. Petrol. Sci.* 2006. V. 101. P. 69–88.
 37. Haapala I. Magmatic and postmagmatic processes in Tin-mineralized granites: Topaz-bearing leucogranite in the Eurajoki rapakivi granite stock, Finland // *J. Petrol.* 1997. V. 38, № 12. P. 1645–1659.
 38. Jonston C., Chappel B.W. Topaz-bearing rocks from Mount Gibson, North Queensland, Australia // *Amer. Mineral.* 1992. V. 77. P. 303–313.
 39. Kortemeir W.T., Burt D.M. Ongonite and topazite dikes in the Flying W ranch area, Tonto basin, Arizona // *Amer. Min.* 1988. V. 73. P. 507–523.
 40. Mamarozikov U.D. Fayalite-bearing rare metallic ongonites and leucogranites of Chatkal-Kurama region, Central Tien-Shan // *Ore potential of alkaline, kimberlite and carbonatite magmatism.* Minsk: Law and economics, 2011. P. 125–126.
 41. Marcia A.M., Nilson F. The topaz-albite granite and related rocks from the Sn-In mineralized zone of Mangabeira granitic massif (GO, Brasil) // *Revista Brasileira de Geociencias.* 2000. № 30 (2). P. 270–273.
 42. Martin R.F., Bowden P. Peraluminous granites produced by rock-fluid interaction in the ririwai nonorogenic ring-complex, Nigeria: Mineralogical evidence // *Can. Miner.* 1981. V. 19. P. 65–82.
 43. Mills J.G.Jr., Rose T.P. Manganian fayalite [(Fe, Mn)₂SiO₄]: A new occurrence in rhyolitic ash-flow tuff, southwestern Nevada, USA // *Amer. Miner.* 1991. V. 76. P. 288–292.
 44. Saltoun B.W. Petrology and Geochemistry of the Fayalite-bearing Granitoids, Mount Rosa Intrusive Centre, Front Range, Colorado // *Amer. Miner.* 1988. V. 61. P. 45–48.
 45. Vasquez P.S., Franz G., Wemmer K. Fe-rich silicates in the Cobquecura pluton: An indicator of A-type granitoids in the Triassic magmatism of south-central Chile // 6th ISAG. Extended Abstracts. Barcelona, 2005. P. 773–775.
 46. Zhao Z., Zhou L. REE geochemistry of some alkali-rich intrusive rocks in China // *Science in China (Series D).* 1997. V. 40, № 2. P. 145–158.

Рецензент В.В. Холоднов

Fayalite-bearing ongonite-leucogranite association of Chatkal-Kurama region (The Middle Tien-Shan)

U. D. Mamarozikov, R. Akhundjanov, S. S. Saidiganiev, G. M. Suyundikova

Institute of Geology and Geophysics of AS RUz,

The paper provides the geological location and results of petrographic, mineralogical and geochemical studies indicating a petrogenesis and potential ore content of fayalite-bearing ongonite-leucogranite association of Chatkal-Kurama region (the Middle Tien-Shan). Origin of ongonite melts appears as a consequence of the interaction of crustal anatectic-palaeogenic granite and alaskite magmas with deep ore-generating fluid-saturated melts. It is shown that the formation and localization of rare metal and rare earth metal mineralization in the over-intrusive areas of Angren dike and Chetsui intrusive are associated with an intense outflow of volatiles and ore components from the front of the ore-generating fluid-saturated melt of ongonites and leucogranites. Pronounced accessory-mineral and geochemical specialization of fayalite-bearing ongonite-leucogranite association indicates that rare metal mineralization was genetically related with them.

Key words: *ongonites, rare metal-bearing leucogranites, accessory-mineral and geochemical specialization, the potential ore content, petrogenesis.*