DOI: *10.18454/PMI.2017.2.149*

Геология

УДК 551.24:552.311(5-012)

ЭВОЛЮЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ НАКОПЛЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДОНОСНЫХ ГРАНИТАХ И МЕТАСОМАТИТАХ ВЕРХНЕУРМИЙСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ПРИАМУРЬЕ)

В.И.АЛЕКСЕЕВ, К.Г.СУХАНОВА, И.М.ГЕМБИЦКАЯ
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Предпринята попытка развить существующие представления об эволюции акцессорной минерализации редкометалльно-гранитовых серий на постмагматическом этапе их развития и формирования сопутствующих гидротермальных месторождений. Исследованы с минералогических позиций состав и распределение редких элементов Верхнеурмийского рудного узла: изучены акцессорные и рудные минералы Sn, W, Nb, Ta, Bi, Y, редкоземельные элементы в редкометалльных литий-фтористых гранитах и ассоциирующих с ними метасоматитах. Установлено, что акцессорные магматические и гидротермальные минеральные комплексы обладают едиными геохимическими чертами, образованы при ведущей роли указанных элементов и закономерно сменяют друг друга во времени. Прослежена эволюция минеральных форм накопления Sn, W, Nb, Ta, Y, редкоземельных элементов в процессах магматической кристаллизации и постмагматического метасоматоза во временно́м ряду: редкометалльные граниты → цвиттеры → турмалиниты → хлорититы. Наблюдается наследование горными породами каждой стадии минералого-геохимических особенностей пород предыдущей стадии. Выявлено значительное количество минералов, образующихся в течение двух-трех стадий, и сквозные магматогенно-гидротермальные минералы. Установлены постмагматические генерации ряда акцессорных минералов редкометалльных гранитов. Особенно разнообразными среди акцессориев редкометалльных гранитов и цвиттеров оказались минералы вольфрама, олова и висмута.

Состав рудной минерализации Верхнеурмийского рудного узла во многом сходен с составом комплекса метасоматических акцессорных минералов редкометалльных гранитов. Вольфрамово-оловорудные месторождения Верхнеурмийского рудного узла являются полиформационными и несут в себе минералогические признаки касситерит-кварцевой и касситерит-силикатной формаций. Эволюция минеральных форм важнейших редких элементов (Sn, W, Bi, Nb, Ta, редкоземельных элементов) указывает на генетическую связь вольфрамово-оловянного оруденения цвиттер-турмалинитовой формации с редкометалльными литий-фтористыми гранитами района. Доказательством служит особая генетическая категория акцессорных минералов, образующихся в результате псевдоморфизации протоминералов, – трансформационные минералы или метасоматические акцессорные минералы. В список метасоматических акцессориев входят именно те минералы, которые считаются индикаторами рудогенерирующей способности лейкогранитов Дальнего Востока: касситерит, вольфрамит, шеелит, ряд сульфидов.

Сходство качественного состава ранне-позднемагматических и постмагматических минералов указывает на металлогеническую специализацию материнской гранитовой магмы. Прогнозно-минерагеническое значение изучения эволюции минеральных форм накопления редких элементов в рудоносных гранитах и метасоматитах связано с возможностью оценки металлогенической специализации материнской гранитовой магмы. Представления об эволюции акцессорных парагенезисов должны быть положены в основу поисковых геотехнологий в Дальневосточной металлогенической провинции.

***Ключевые слова*:** эволюция, акцессорные минералы, редкометалльные граниты, цвиттеры, турмалиниты, Верхнеурмийский рудный узел, Приамурье

***Как цитировать эту статью*:** Алексеев В.И. Эволюция минеральных форм накопления редких элементов в рудоносных гранитах и метасоматитах Верхнеурмийского рудного узла (Приамурье) / В.И.Алексеев, К.Г.Суханова, И.М.Гембицкая // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 149-155. DOI: 10.18454/PMI.2017.2.149

Введение. Государственной программой Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (2013) предусмотрено создание условий для ввода в эксплуатацию и комплексного освоения месторождений редких и редкоземельных металлов. По учтенным запасам большинства редких металлов отечественная сырьевая база занимает ведущее положение в мире. Однако в силу ряда геолого-экономических причин (содержание металлов в рудах, географо-экономическое положение рудных районов и др.) Россия уступает странам-продуцентам концентратов редких металлов. Одной из причин неблагоприятного положения дел является недостаточная изученность условий формирования и локализации месторождений России, связанных с редкометалльными гранитами.

В новейшей истории регионального геологического исследования России можно выделить три этапа: 1) 1938-1964; 2) 1964-2005; 3) с 2005 г. Второй этап, ознаменовавшийся проведением среднемасштабного картирования рудных районов, привел к открытию рудоносных редкометалльных гранитов (РГ), позволил собрать богатые минералого-петрографические материалы и

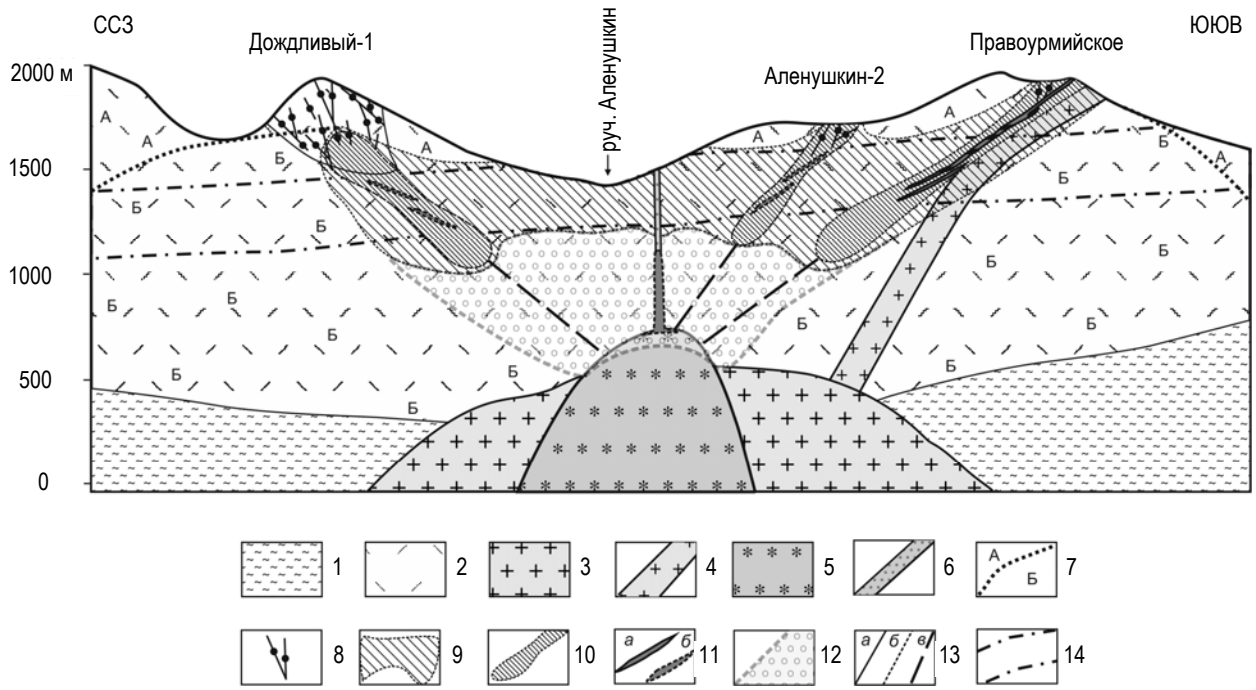


Рис.1. Верхний ярус Верхнеурмийской рудно-магматической системы
(по материалам Ю.Б.Марина, Г.Т.Скублова, В.И.Алексеева и др., 1990, с дополнениями В.И.Алексеева)

1 – кристаллические сланцы; 2 – риолитовые игнимбриты; 3 – апикальный выступ биотитовых лейкогранитов Верхнеурмийского массива; 4 – дайка биотитовых гранит-порфиров; 5 – предполагаемая на глубине интрузия литий-фтористых гранитов; 6 – дайка сидерофиллит-альбитовых гранитов; 7 – граница зон региональных пропилитов: А – альбит-амфиболовых, Б – биотитовых; 8 – минерализованные зоны цвиттеров и турмалинитов нерасчлененные; 9, 10 – штокверки с ореолами цвиттеров сидерофиллит-кварцевой фации: умеренные (9), интенсивные (10); 11 – рудные зоны цвиттеров сидерофиллит-топаз-кварцевой фации: установленные (*а*) и предполагаемые на глубине (*б*); 12 – объемная цвиттеризация; 13 – границы геологические (*а*), метасоматические (*б*), тектонические (*в*); 14 – границы зоны рудоотложения

раскрыть главные черты петрогенезиса РГ [3-5, 11]. Было установлено, что РГ – магматические породы, содержащие промышленную редкометалльную (Ta, Nb, W, Sn, Li, Be, РЗЭ) акцессорную минерализацию (65-70 минеральных видов). В гранитоидных сериях от гранодиоритов-гранитов к поздним субщелочно-щелочногранитовым редкометалльным гранитам зафиксировано увеличение количества минеральных видов и многообразия классов минералов, заметное повышение роли оксидов, фторидов, карбонатов, фосфатов, силикатов редких и редкоземельных элементов. В этом же направлении происходит усложнение структуры акцессорных минералов: от оксидов координационного строения к слоистым и каркасным; от силикатов с изолированными Si-тетраэдрами – к каркасным. К поздним членам гранитоидных серий – редкометалльным гранитам, увеличиваются частота встречаемости и содержание минералов с летучими компонентами, редкими и редкоземельными металлами, причем все более низкокларковыми [13].

Одна из наиболее популярных концепций гидротермального рудообразования предполагает магматический источник флюидов и минерального вещества. Наличие генетической связи оруденения с гранитоидами и разнообразие ее проявлений подчеркивали А.Г.Бетехтин (1955), Ю.А.Билибин (1955), И.Г.Магакьян (1974), В.И.Смирнов (1982), Л.Н.Овчинников (1988) и другие исследователи. Авторами на примере Верхнеурмийского рудного узла в Среднем Приамурье предпринята попытка развить существующие представления об эволюции акцессорной минерализации редкометалльно-гранитовых серий на постмагматическом этапе их развития и формирования сопутствующих гидротермальных месторождений.

Геология объекта исследований. Эталонным районом исследований выбран Баджальский рудный район, входящий в состав Хингано-Охотской оловоносной магматической области Приамурья [9]. Геология района и крупнейшего Верхнеурмийского медь-вольфрам-оловорудного узла описаны в статье [4]. В восточном экзоконтакте Верхнеурмийского гранитного батолита выявлен ареал РГ, контролирующих множество редкометалльных рудопроявлений и крупнейшее Правоурмийское вольфрамово-оловянное месторождение [1, 2, 7, 9]. Важная

DOI: *10.18454/PMI.2017.2.149*

особенность Верхнеурмийской рудно-магматической системы (РМС) – широкое развитие последовательно образующихся оловорудных топаз-сидерофиллитовых цвиттеров, турмалиновых и хлоритовых метасоматитов, слагающих метасоматические зоны и штокверки, в том числе рудные тела Правоурмийского месторождения, рудопроявлений Аленушкин, Омот-Макит, Вольфрам-Макит, Дождливый и др. (рис.1). Размещение и зональность цвиттеров, турмалинитов и хлоритов контролируются правоурмийским редкометалльно-гранитовым комплексом [2]. Весьма актуальна проблема сопоставления минерального состава рудоносных гранитов и околорудных метасоматитов.

Методология и методы исследования. Научно-методической основой работы является систематика редкометалльных гранитовых формаций С.М.Бескина – Ю.Б.Марина (1976-2013) [5]. Использована модель глубинных очаговых структур И.Н.Томсона и М.А.Фаворской (1973; 1992) [8], дополненная концепцией РМС Дальнего Востока В.Г.Гоневчука [9]. Основной принцип исследования – комплексирование минералого-петрологической информации на различных уровнях организации вещества: минеральном, горно-породном и формационном. Методы исследования: геологическое картирование опорного рудного узла, региональная корреляция гранитоидных и метасоматических образований, формационный анализ. Для решения петрологических задач применялся метод электронной петрографии, основанный на сочетании оптических и электронно-микроскопических методик исследования минералов (SEM, EMPA, CL, SIMS). Основным исполнителем исследований был научно-образовательный центр «Фундаментальные исследования минералов-индикаторов петро- и рудогенеза» Санкт-Петербургского горного университета.

Эволюция минеральных форм концентрации редких элементов в рудоносных гранитах и метасоматитах Верхнеурмийского рудного узла. Детальное изучение крупнейших месторождений района позволило установить эволюцию состава редкометалльной минерализации во временно́м ряду: РГ → цвиттеры → турмалиниты → хлорититы. Акцессорные магматические и разностадийные гидротермальные минеральные комплексы, с одной стороны, обладают едиными геохимическими чертами и образованы при ведущей роли W, Sn, Nb, Ta, Bi, Y, РЗЭ, а с другой – закономерно сменяют друг друга во времени. Минералого-геохимическая эволюция горных пород заключается в закономерном изменении форм минеральной концентрации редких и рудных элементов (конституционных и примесных). Наблюдается наследование горными породами каждой стадии минералого-геохимических особенностей пород предыдущей стадии. Выявлено значительное количество минералов, образующихся в течение двух-трех стадий, и сквозные магматогенно-гидротермальные минералы: касситерит, ферберит, шеелит, рутил, самородный висмут, монацит.

В РГ и постмагматических цвиттерах интенсивно накапливаются литофильные элементы: F, Li, Nb, Ta, W, Y, РЗЭ, Th, U. При этом минералы Li, Nb, Ta не характерны для более поздних метасоматитов, а минералы F, W, Y, РЗЭ, Th, U образуются на всех стадиях развития рудно-магматических систем. Типоморфными литофильными элементами рудно-геохимических процессов, сопутствующих внедрению РГ, являются F, W, Y, РЗЭ, Th, U. Фтор входит в состав флюорита, топаза, фосфатов. Тантал-ниобиевая, вольфрамовая, иттрий-редкоземельная и торий-урановая минерализации наиболее характерны для РГ и цвиттеров, где наряду с химически специализированными фазами (ферберит, монацит, ксенотим, шеелит, алланит, черновит, торит, уранинит) распространены сложные оксиды с Nb, Ta, U, Th, Y, тяжелыми РЗЭ, W, Sn (самарскит, фергусонит, висмутопирохлор, ишикаваит, эвксенит). Многие минералы Nb, W, Y, РЗЭ (шеелит, ферберит, циртолит, монацит) встречаются и в поздних гидротермалитах (см. таблицу).

Минералы халькофильных элементов возникают при формировании редкометалльных гранитов и образуются на всех стадиях постмагматического гидротермального процесса. Выделен «магматогенно-пневматолитовый» комплекс минералов Sn, As, Bi, содержание и разнообразие которых резко возрастают при переходе от магматической стадии к цвиттеровой и затем быстро сокращаются; «гидротермальный» комплекс включает минералы Cu, Zn, Pb, In, Ag, содержание и количество которых последовательно нарастают к поздним стадиям гидротермального процесса. Главные халькофильные элементы – Sn, As, Bi – образуют кислородные соединения (оксиды, арсенаты, вольфраматы), в том числе главные рудные минералы цвиттеров и турмалинитов – касситерит и арсенопирит; входят в состав тантало-ниобатов. Начиная с цвиттеровой стадии последовательно

нарастает роль сульфидов Sn, As, Bi: от лёллингита, арсенопирита и висмутина до сульфостаннатов меди (станнина, станноидита, моусонита, кестерита и др.), сульфосолей Ag, Cu, Bi (см. таблицу). Второстепенные халькофилы – Cu, Zn, Pb, In, Ag – не характерны для гранитов. Они появляются в виде сульфидов, арсенатов, сульфосолей в цвиттерах и на поздних стадиях приобретают значение рудных элементов. Типоморфными элементами халькофильной минерализации вольфрамово-оловянных месторождений района служат Cu, In.

Эволюция минеральных ассоциаций редких элементов в рудно-магматической системе с редкометалльными гранитами Верхнеурмийского рудного узла (Приамурье)

Редкий элемент	Литий-фтористые граниты и онгониты	Цвиттеры	Турмалиниты	Хлорититы
Nb	Вольфрамоиксиолит, самарскит, эшинит, ишикаваит, фергусонит, пирохлор, висмутопирохлор, ильменорутил, эвксенит, колумбит, (рутил, ильменит)	Фергусонит, эвксенит, пирохлор, (ферберит, рутил)	(Рутил, ферберит)	–
Ta	Вольфрамоиксиолит, иксиолит, ишикаваит, эвксенит, колумбит, (самарскит, висмутопирохлор)	(Эвксенит)	–	–
W	Вольфрамоиксиолит, ферберит, шеелит, (самарскит, эшинит, рутил, ильменит, ишикаваит, висмутопирохлор)	Ферберит, шеелит, (рутил, эвксенит, касситерит, пирохлор, ильменит)	Ферберит, (рутил)	Шеелит
Sn	Касситерит, иксиолит, (вольфрамоиксиолит, рутил, ишикаваит)	Касситерит, станнин, сакураиит, кёстерит, (рутил)	Касситерит, станноидит, моусонит, станнин, кёстерит, (халькопирит, титанит)	Касситерит
Bi	Висмутопирохлор, висмут, (ишикаваит, самарскит, эшинит)	Висмут, висмутин, мозговаит, виттихенит, бисмит, ганьаньит, хедлейит, заварицкит, бисмутоферрит	Висмут, висмутин, виттихенит, (теннантит)	Висмут, бенжаминит
Y, РЗЭ	Монацит, церианит, ксенотим, самарскит, ишикаваит, фергусонит, алланит-(Y), эшинит, черновит-(Y), бритолит-(Y), эвксенит, твейтит, (апатит, флюорит, циркон)	Монацит, ксенотим, алланит-(Ce), фергусонит, эвксенит, (флюорит, циртолит)	Монацит, (циртолит)	(Эпидот)

Примечание. Подчеркнуты главные акцессорные и рудные минералы. В скобках – минералы, содержащие редкий элемент в виде существенной (> 0,1 %) примеси.

Новые данные об акцессорной минерализации РГ Верхнеурмийского рудного узла показывают, что в их составе широко представлены поздне- и постмагматические минералы (фергусонит, эвксенит, самородный висмут, пирохлор и др.), наблюдаемые также в цвиттерах. Установлены постмагматические генерации ряда акцессорных минералов редкометалльных гранитов: ферберита, вольфрамоиксиолита, фергусонита, шеелита, флюорита, монацита, рутила и др. (рис.2). Значительная роль в комплексе гидротермальных акцессориев принадлежит сульфидам: арсенопириту, висмутину, пириту, пирротину, халькопириту, галениту, сфалериту [7, 9]. Нами выявлены также ранее не описанные на Дальнем Востоке метасоматические минералы: сакураиит, купропирсеит, аргентотеннантит, мозговаит, карибибит и др. [3]. Особенно разнообразными среди акцессориев РГ и цвиттеров оказались минералы вольфрама (вольфрамит, вольфрамоиксиолит, шеелит и др.), олова (касситерит, иксиолит, станнин, кёстерит, сакураиит и др.) и висмута (висмутопирохлор, ганьаньит, виттихенит и др.) [15] (см. таблицу, рис.2).

Как следует из таблицы, состав рудной минерализации Верхнеурмийского медь-вольфрам-оловянного рудного узла во многом сходен с составом комплекса метасоматических акцессорных минералов редкометалльных гранитов. При этом только вольфрам имеет в гранитах и рудах идентичные минеральные формы, входя в состав вольфрамита, шеелита, вольфрамоиксиолита (рис.2). В качестве изоморфной примеси вольфрам входит также в состав ряда акцессорных и гидротермальных минералов: тантало-ниобатов, ильменита, рутила [3, 15]. Другие рудные элементы – Nb, Sn, As, Bi, Pb, Zn – встречаются в гранитах преимущественно в виде изоморфных компонентов акцессориев или в составе малораспространенных акцессорных минералов, а на поздне- и по-

DOI: *10.18454/PMI.2017.2.149*

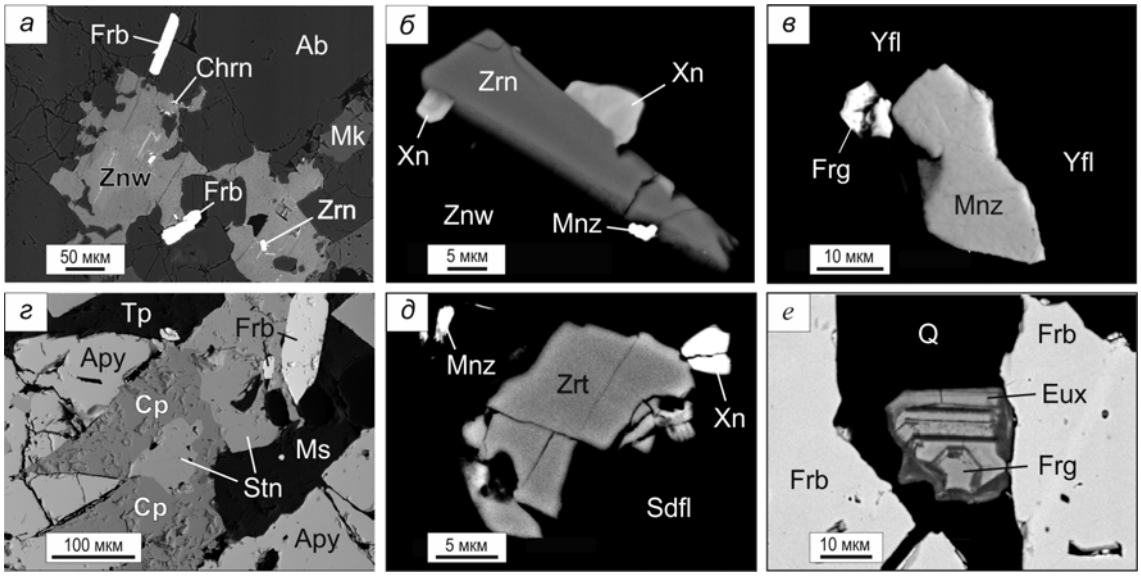


Рис.2. Унаследованный состав акцессорной и рудной минерализации циннвальдитовых редкометалльных гранитов (*а-в*) и топаз-кварц-сидерофиллитовых цвиттеров (*г-е*) Верхнеурмийского рудного узла.

Минералы: Ab – альбит, Apy – арсенопирит, Chrn – черновит-(Y), Cp – халькопирит, Eux – эвксенит-(Y), Frb – ферберит, Frg – фергусонит-(Y), Mk – микроклин, Mnz – монацит-(Ce), Ms – мусковит, Q – кварц, Sdfl – сидерофиллит, Stn – станнин, Tp – топаз, Xn – ксенотим-(Y), Yfl – иттрофлюорит; Znw – циннвальдит, Zrn – циркон, Zrt – циртолит

стмагматическом этапах развития рудно-магматических систем образуют рудные минералы. В частности, ниобий и тантал входят в состав акцессорного и рудного ферберита, а также целого ряда тантало-ниобатов, включая фергусонит (рис.2). Магматогенно-гидротермальная эволюция минеральных видов заключается в обеднении вольфрамита Nb, Sc и увеличении разнообразия редкоземельных примесей в фергусоните.

Редкоземельные элементы образуют собственные минеральные фазы в РГ и метасоматитах: монацит-(Ce), ксенотим-(Y), алланит-(Y), алланит-(Ce), эвксенит-(Y) и др. Акцессорный касситерит оказался не столь распространен в лейкогранитах и редкометалльных гранитах, как этого можно было ожидать исходя из опубликованных работ [3, 15]. Причиной служит наличие иных позднемагматических носителей олова в РГ: рутила (до 22,92 % SnO_2), вольфрамоиксиолита (до 2,65 % SnO_2), стрюверита, титанита. Редкие находки касситерита в редкометалльных гранитах имеют позднемагматическое происхождение. Висмут концентрируется в виде висмутопирохлора, в самородном состоянии или наблюдается в виде примеси в ишикаваите, самарските, эшините.

Обсуждение результатов. Глубокая лейкократизация пород земной коры под воздействием интрателлурических флюидов способна привести к формированию рудно-магматических систем с редкометалльными гранитами [6, 8, 9]. Крупнейшее Правоурмийское месторождение олова и вольфрама пространственно совмещено с одноименным комплексом РГ [2, 3, 15]. С точки зрения существующих классификаций [10] вольфрамово-оловорудные месторождения Верхнеурмийского рудного узла являются полиформационными и несут в себе минералогические признаки касситерит-кварцевой и касситерит-силикатной формаций. Выделена единая вольфрамово-оловорудная цвиттер-турмалинитовая формация, ассоциированная с РГ [1, 2, 7, 10]. Характерной особенностью минералого-геохимической эволюции цвиттер-турмалинитовых месторождений является наследование постмагматическими минералами редкоэлементного состава акцессориев РГ, при котором минералообразующая роль переходит от главных литофильных компонентов (W, Nb, Y, РЗЭ) к второстепенным халькофильным (Sn, Bi, As, Cu, Pb) [3].

Эволюция минеральных форм редких элементов указывает на генетическую связь цвиттер-турмалинитовой формации с РГ. Объяснить эту эволюцию можно следующим образом. Важной особенностью РГ является устойчивое присутствие в них групп геохимически и кристаллохимически родственных акцессорных минеральных видов [5, 11, 16]. Такие акцессории образуют, как правило, закономерные сростки, которые содержат сведения об условиях своего возникновения и роста [3, 12]. Уникальные особенности редкометалльно-гранитовой магмы обеспечивают возможность синхронной кристаллизации родственных акцессорных минералов [11, 16]. Химическая

микрогетерогенность и эволюция расплава, накопление редких элементов в остаточных поровых растворах определяют последовательность кристаллизации и замещение раннемагматических акцессорных минералов (топаз, флюорит, ильменит, циркон, монацит, ксенотим, ферберит, вольфрамоиксиолит, фергусонит, эшинит, торит, сподумен, амблигонит) поздне-постмагматическими (ильменорутил, касситерит, висмутопирохлор, самарскит, алланит, ишикаваит, черновит, шеелит, рузвельтит, бритолит, асселборнит, филипсборнит, церианит, торианит, пирофанит) [3]. Формируется особая генетическая категория минералов, образующихся в результате кристаллохимического приспособления (псевдоморфизации) магматических протоминералов к новым условиям существования, – трансформационные минералы [14]. Такие поздне- и постмагматические акцессории, возникающие в результате взаимодействия кристаллизующегося расплава с флюидом или постмагматического преобразования РГ, В.В.Ляхович называл «метасоматическими» [12]. Следует подчеркнуть, что в список метасоматических минералов входят именно те минералы, которые считаются индикаторами рудогенерирующей способности лейкогранитов Дальнего Востока: касситерит, вольфрамит, шеелит, арсенопирит, лёллингит, висмутин и др. [3, 8, 9].

Сходство качественного состава магматических и постмагматических минералов отражает металлогеническую специализацию материнской гранитовой магмы [6, 7, 9]. Рудные элементы могут концентрироваться в гранитах на магматической стадии, формируя акцессорно-рудную минерализацию РГ [13], рассеиваться в виде примесей в породообразующих и акцессорных минералах или накапливаться в остаточных расплавах-растворах и формировать постмагматическую рудную минерализацию [3, 6, 12, 13]. В соответствии с принципами, изложенными в работах [6, 12, 13, 15], наличие акцессорных минералов, содержащих рудные элементы (Sn, W, Bi, Nb, Ta, РЗЭ), и их эволюцию следует расценивать как признаки генетической связи W-Sn-оруденения цвиттер-турмалинитовой формации с РГ Верхнеурмийского рудного узла.

Выводы

1. С точки зрения существующих классификаций [10] вольфрамово-оловорудные месторождения Верхнеурмийского рудного узла являются полиформационными и несут в себе минералогические признаки касситерит-кварцевой и касситерит-силикатной формаций.

2. Установлена эволюция минеральных форм концентрации редких и рудных элементов в Верхнеурмийской рудно-магматической системе, указывающая на генетическую связь рудно-метасоматической цвиттер-турмалинитовой формации с РГ.

3. Видовой состав, конституция и типоморфизм акцессорных минералов РГ и сопутствующих гидротермалитов служат индикаторами условий формирования гранитоидных серий и потенциальной рудоносности конкретных интрузий. Прогнозно-минерагеническое значение эволюции минеральных форм накопления редких элементов в рудоносных гранитах и метасоматитах определяется возможностью оценки металлогенической специализации материнской гранитовой магмы. Представления об эволюции акцессорных парагенезисов должны быть положены в основу поисковых геотехнологий (шлиховой метод, минералого-геохимическое картирование и пр.) в Дальневосточной металлогенической провинции.

Благодарность. *Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ* (*проект № 14-05-00364а*) *и Минобрнауки РФ* (*базовая и проектная части государственного задания в сфере научной деятельности № 5.9248.2017/ВУ на 2017-2019 годы*).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.И.* Метасоматическая зональность рудных полей Баджальского района (Приамурье) // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1989. № 5. С. 27-37.

2. *Алексеев В.И.* Дальневосточный пояс литий-фтористых гранитов, онгонитов и оловорудных цвиттеров // Записки Горного института. 2015. Т. 212. С. 14-20.

3. *Алексеев В.И.* Литий-фтористые граниты Дальнего Востока. СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. 244 с.

4. *Алексеев В.И.* Редкометалльные граниты в структурах российского сектора Тихоокеанского рудного пояса // Записки Горного института. 2016. Т. 220. С. 515-520.

5. *Бескин С.М.* Редкометальные гранитовые формации / С.М.Бескин, В.Н.Ларин, Ю.Б.Марин. Л.: Недра, 1979. 280 с.

6. *Бескин С.М.* Металлогеническое районирование областей гранитоидного плутонизма (дедуктивный подход). М.: ИМГРЭ, 2007. 108 с.

7. *Гавриленко В.В.* Геохимия, генезис и типоморфизм минералов месторождений олова и вольфрама / В.В.Гавриленко, Е.Г.Панова. СПб: Невский курьер, 2001. 260 с.

8. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: В 2 кн. / Под ред. А.И.Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.

9. *Гоневчук В.Г.* Оловоносные магматические системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. Владивосток: Дальнаука, 2002. 297 с.

10. *Гоневчук В.Г.* О проблемах в классификации оловянных месторождений на формационной основе / В.Г.Гоневчук, А.М.Кокорин, П.Г.Коростелев // Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований (к 100-летию Е.А.Радкевич) / Под ред. А.И.Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 70-88.

11. *Коваленко В.И.* Петрология и геохимия редкометальных гранитоидов. Новосибирск: Наука, 1977. 206 с.

12. *Ляхович В.В.* Акцессорные минералы горных пород. М.: Недра, 1979. 296 с.

13. *Марин Ю.Б.* Акцессорные минералы гранитоидных серий оловянных и молибденовых провинций // Записки Российского минералогического общества. 2004. № 6. С. 1-7.

14. *Хомяков А.П.* Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М: Наука, 1990. 200 с.

15. *Alekseev V.I.* Composition and evolution of accessory mineralization of Li-F granites in the Far East as indicators of their ore potential / V.I.Alekseev, Yu.B.Marin // Geology of Ore Deposits. 2015. Vol. 57. N 8. P. 635-644.

16. *Linnen R.L.* Granite-related rare-element deposits and experimental constraints on Ta-Nb-W-Sn-Zr-Hf mineralization / R.L.Linnen, M.Cuney // Rare-element geochemistry and mineral deposits / Eds. R.L.Linnen and I.M.Samson. Geological Association of Canada Short Course Notes. 2005. Vol. 17. P. 45-68.

Авторы: **В.И.Алексеев**, *д-р геол.-минерал. наук*, *профессор*, *via@spmi.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*), **К.Г.Суханова**, *инженер*, *cris.suhanova92@yandex.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*), **И.М.Гембицкая**, *канд. геол.-минерал. наук*, *ведущий научный сотрудник*, *marblsya@bk.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Санкт-Петербург*, *Россия*).

Статья принята к публикации 11.11.2016.