

**ГЕОЛОГО-ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ
КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА И ПОИСКА РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА**

О.Н. Кузьмина¹, И.Е. Матайбаева¹, Б.А. Дьячков^{1,2}, З.И.Черненко¹

1– Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, 070004,

г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова А.К., 69 Казахстан;

*2– ТОО «Алтайский геолого-экологический институт», 070004 г. Усть-Каменогорск, ул. Либкнехта, 21,
Казахстан*

Рассматриваются геолого-структурные, петрологические и минералого-геохимические критерии прогнозирования и поиска редкометалльных месторождений Восточного Казахстана, пространственно и генетически связанных с мощным пермским гранитоидным магматизмом постколлизийной (орогенной) стадии внутриплитной активизации. Подчеркивается повышенная рудоносность гранитоидных массивов калбинского комплекса, сформированных в мобильной геодинамической обстановке и сопровождающихся промышленными месторождениями редкометалльных пегматитов. Приводится новая минералого-геохимическая информация о редкометалльной специализации гранитоидов Калбы.

редкие металлы, рудоносность гранитоидов, типы месторождений, критерии прогноза, Восточный Казахстан

**GEOLOGICAL PETROLOGICAL, MINERALOGICAL, AND GEOCHEMICAL
CRITERIA FORECAST AND SEARCH FIELDS RARE EASTERN KAZAKHSTAN**

O.N. Kuzmina, I.E. Mataibayeva, B.A. Dyachkov, Z.I. Chernenko

Geology-structural, petrological, mineralogical, and geochemical criteria of forecasting and search rare metal deposits of East Kazakhstan are considered. They spatially and genetically associated with powerful Permian granitoid magmatism of postcollisional (orogenic) stage of intraplate activation. Increased ore bearing of granitoid massifs of Qalba complex are underlined. They was formed in mobile geodynamic condition and accompanied industrial deposits of rare metal pegmatite. The new mineralogical and geochemical information about rare metal specialization of granitoids of Qalba are provided.

rare metals, ore bearing granitoids, types of deposit, criteria for prediction, East Kazakhstan

В настоящее время в Восточно-Казахстанском регионе важнейшая задача заключается в воссоздании и укреплении минерально-сырьевой базы редких металлов (Ta, Nb, Be, Li, Sn и др.). Редкометалльные месторождения и рудопроявления известны во всех тектонических зонах Большого Алтая (БА) – в Рудном Алтае, Иртышской зоне смятия, Западной Калбе и Жарма-Сауре, но главные из них сосредоточены в Калба-Нарымском редкометалльном поясе [1, 2, 5]. Основные редкометалльные объекты пространственно и генетически связаны с пермским гранитоидным магматизмом, интенсивно проявленным в завершающую стадию герцинского цикла в постколлизийной (орогенной) геодинамической обстановке. По глобальной цикличности в истории развития Земли вспышка активности редкометалльного

гранитоидного магматизма по А.В. Ткачеву [7] совпадает с завершением пангейского металлогенического цикла с граничным рубежом 0,20 млрд. лет.

На территории БА главные редкометаллоносные структуры приурочены к блокам ЗК сиалического профиля с повышенной мощностью метагранитного слоя (до 12–14 км) и земной коры в целом (48,5–55 км). Устанавливается закономерная приуроченность гранитоидных поясов к границам сочленения разнородных тектонических блоков. На северо-востоке региона, на границе Рудного Алтая с каледонидами Горного Алтая сформировались Тигерекско-Черневинский и Горноалтайский (Урыль-Коктогайский) гранитоидные пояса с W-Mo-Ta специализацией. На юго-западе, на границе с каледонидами Чингиз-Тарбагатая локализовались Акбиик-Акжайляуский и Арчалы-Эспинский пояса с редкометалльно-редкоземельным профилем оруденения. В центральной части БА, на границе Иртышской зоны и Западной Калбы, сформировался наиболее крупный Калба-Нарымский гранитоидный пояс, сопровождающийся многими месторождениями редких металлов.

Указанные пояса имеют региональное развитие (протяженность более 500 км) и характеризуются большими объемами пермских гранитоидов, сопоставимыми по масштабности с другими регионами Центральной Азии [4, 7]. Подсчитанный объем гранитоидной формации Калба-Нарымского пояса составляет порядка 94050 км³ [8], поэтому в этом регионе имелись достаточно высокие потенциальные энергетические и материальные ресурсы для редкометалльного рудообразования. Построенные структурно-металлогенические модели отражают объемное строение тектонических зон (террейнов), связи рудно-магматических систем с глубинными зонами ЗК и, следовательно, гранитоидные пояса редкометалльной специализации сформировались в результате длительной эволюции вещества литосферы [1, 3]. Геотектонические условия формирования и рудно-петрохимическая типизация гранитоидов представляются ведущими факторами для прогнозирования редкометалльных месторождений [2, 5, 8]. Проблемные вопросы потенциальной рудоносности и возраста гранитоидов Калбы рассматривались многими геологами с разных позиций, что отражено на Российско-Казахстанском совещании по корреляции Алтаид и Уралид [6].

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ КРИТЕРИИ

В связи с эволюцией гранитоидного магматизма в постколлизийной геодинамической обстановке (P₁-T₁) происходила закономерная смена вещественного состава интрузивных комплексов и связанных с ними типов редкометалльного оруденения различной масштабности. При этом важное значение в процессах рудообразования придается геолого-структурным условиям становления гранитных массивов, приводящих к концентрации или рассеянию редких элементов. На примере Калба-Нарымской зоны наиболее рудоносными представляются гранитоидные интрузии, формирующиеся в мобильной геодинамической обстановке, что, вероятно, способствует более интенсивному протеканию процессов рудообразования в неравновесных P-T-условиях, и, в конечном итоге, образованию промышленных месторождений (массивы Белогорский, Прииртышский и др.). Напротив, более спокойные тектонические условия кристаллизации относительно

малоподвижных и вязких гранитных расплавов приводят к более полной магматической дифференциации, рассеянию РЭ в породообразующих и рудных минералах и слабой рудоносности гранитов (массивы Каиндинский, Дубыгалы, Сибинский и др.).

В размещении редкометалльных месторождений рудоконтролирующая роль также принадлежит широтным глубинным разломам древнего заложения и длительной активизации, особенно в узлах их пересечения с северо-западными, северо-восточными и меридиональными дизъюнктивами (Гремячинско-Киинский, Асубулакский, Белогорский, Мирлюбовский и др.), которые контролировали размещение промышленных редкометалльно-пегматитовых месторождений (Бакенное, Юбилейное, Белая Гора и др.). Для концентрации редкометалльного оруденения наиболее перспективны апикальные части и надинтрузивные зоны гранитных массивов, их апофизы, скрытые купола и тектонически ослабленные зоны во вмещающих породах, насыщенные жильными образованиями. По геолого-геофизическим данным основные рудные узлы и рудные поля пространственно размещаются в утолщенной части гранитных массивов, над магмоподводящими «корнями» или по их периферии.

ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

Редкометалльная специализация гранитоидов Калба-Нарыма, в первую очередь, зависит от их минерально-петрографического состава. Наиболее продуктивными на редкие металлы являются граниты калбинского комплекса, объединяющие две интрузивные фазы.

Первая фаза сложена крупными массивами средне-крупнозернистых биотитовых гранитов и их контаминированными разностями (гранодиориты, адамелиты и др.), умеренно кислого состава, невысокой щелочности и повышенной основности. Для них характерна гранат-ильменит-апатитовая акцессорная специализация (рис. 1), а геохимический тип гранитов – олово-танталовый (с литием и бериллием). Именно с гранитами I фазы пространственно связаны главные промышленные редкометалльно-пегматитовые месторождения Калбы, содержащие уникальные минералы – клевеландит (пластинчатая разновидность альбита), лепидолит, сподумен, амблигонит $(\text{Li,Na})\text{AlPO}_4(\text{F,OH})$, поллуцит $(\text{Cs,Na})[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, цветные и полихромные турмалины и др. (Бакенное, Юбилейное, Белая Гора и др.). Меньшее значение имели грейзеновые и гидротермальные месторождения олова и вольфрама (Чудское, Каинды, Убаредмет и др.). Вторая фаза объединяет среднезернистые равномернотернистые биотитовые и мусковитизированные граниты. Это породы нормального ряда, высокоплюмазитовые и низкой основности. Характеризуются ильменит-апатитовой акцессорной специализацией, в них ярко проявлены послемагматические процессы площадной мусковитизации, альбитизации, грейзенизации и окварцевания. Минералогическими индикаторами оруденения являются апатит, флюорит, турмалин, мусковит, альбит и др. С гранитами II фазы связаны собственные редкометалльно-пегматитовые месторождения (Ta, Nb, Be, Li), более мелкого масштаба по сравнению с гранитоидами I фазы (Кварцевое, Ахметкино), альбитит-грейзеновые олово-танталовые (Карасу, Апогранитное) и грейзеново-кварцевожильные Sn–W (Караш, Ленинское и др.).

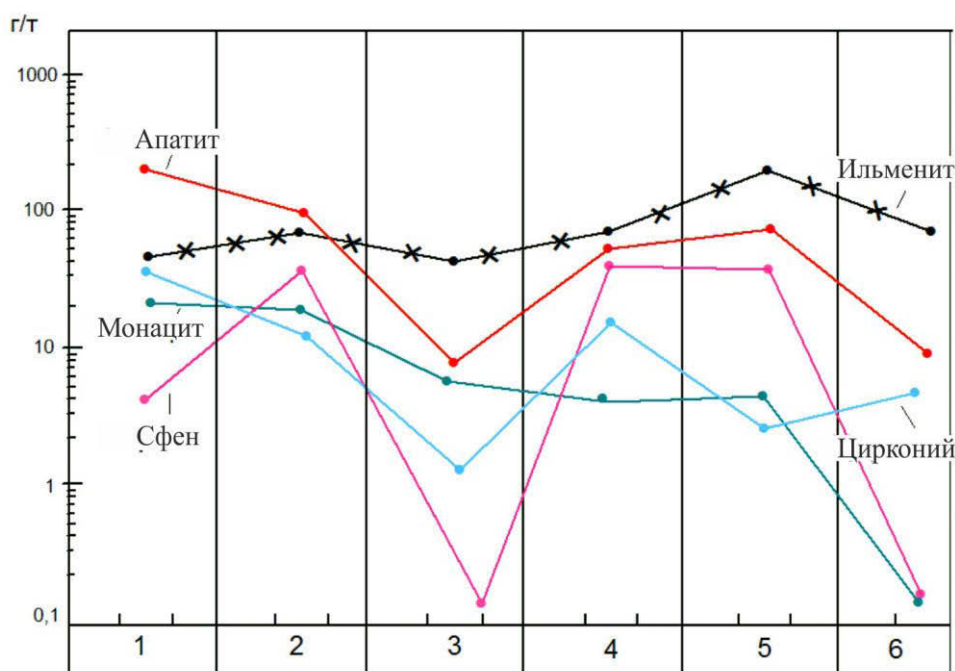


Рис. 1. Содержание типоморфных акцессорных минералов в гранитоидах калбинского комплекса (г/т).

1 – средне-крупнозернистые порфирировидные граниты эндоконтактовой фации; 2 – среднезернистые равномернозернистые граниты главной интрузивной фации и 3 – жильные породы первой фазы; 4 – среднезернистые равномернозернистые биотитовые граниты главной фазы; 5 – мелкозернистые биотитовые граниты дополнительной субфазы; 6 – жильные аплитовидные граниты второй фазы.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

При разработке минералого-геохимических критериев оценки рудоносности гранитоидов методика работ заключалась в анализе мономинеральных фракций породообразующих и рудных минералов из разных типов гранитоидов, пегматитов, грейзеновых тел и кварцевых жил, из которых выделялись кварц, полевые шпаты, микроклин, биотит, мусковит, касситерит, танталит и другие минералы [9].

Мусковиты отобраны из редкометалльных пегматитовых месторождений: Юбилейного, Бакенного, Медведка, Точка и других. В мусковитах этих месторождений установлены повышенные концентрации редких элементов (Ta, Nb, Be, Sn), редких щелочей (Li, Rb, Cs).

На Юбилейном месторождении содержание тантала в мусковитах варьирует от 20,05 до 153,1 г/т с наибольшей концентрацией в его зеленой разновидности из грейзенового комплекса (до 1795 г/т). Аномальные значения редкощелочных элементов присущи мусковитам из продуктивных альбит-сподуменовых и цветных комплексов (г/т): Li (до 6545 г/т), Rb (до 5837 г/т) и Cs (до 1023 г/т), а содержание Sn составляет 230–776 г/т. Кроме того, для мусковитов характерны многие другие элементы-примеси (Fe, Mg, Ti, Mn, Zn, B, F, P и др.), отражающие состав рудоносных флюидов.

Биотиты являются концентраторами сидерофильных и халькофильных элементов (Fe, Mn, Cu, Pb, Zn), в них также повышены содержания Zr, Sc, Ca, P, Th. Количество редких

щелочей, по сравнению с мусковитами, значительно ниже (г/т): Li (59–1287), Rb (362–1430), Cs (9,9–113,4). Содержания редких металлов составляют (г/т): Ta (8,4–72,2), Nb (55,2–345,6), Sn (12,2–570,8), при этом более высокие значения указанных элементов фиксируются в биотитах редкометаллоносных гранитоидов по сравнению с малопродуктивными гранитами. Отмечаются также весовые содержания благородных металлов Au (0,23–0,36 г/т), Sb (1,06–1,73 г/т) и U (2,17–22,64 г/т), что свидетельствует о нахождении этих элементов в первичных магматических расплавах.

Микроклины порфировидных вкрапленников из гранитов I фазы калбинского комплекса и пегматитовых жил простого состава характеризуются повышенными содержаниями сидерофильных, халькофильных, редких металлов, редких щелочей и многих других элементов-примесей, фактически отражающих вещественный состав кристаллизующихся гранитных расплавов. Высокие содержания тантала и ниобия фиксируются в микроклинах редкометалльных пегматитовых месторождений Унгурсай, Жаты-Сары и Верхняя Баймурза: Ta (35,3–84,0 г/т), Nb (18,9–89,3 г/т). Также для них характерны аномальные значения Rb (до 7720 г/т) и Cs (до 1800 г/т), что значительно выше, чем в микроклинах и полевых шпатах других типов месторождений (Чибунтай, Буран и Койтас). Более равномерно в микроклинах разных месторождений распределяются Be, Li, Sn, W и Mo. Как видно, полевые шпаты, обогащенные Ta, Nb, Rb и Cs, могут быть индикаторами для поиска редкометалльных пегматитов.

Касситериты изучались из редкометалльно-пегматитовых и грейзеново-кварцевожилых месторождений. Установлены их существенные различия по цвету, форме кристаллов, содержанию элементов-примесей и другим признакам. Касситериты месторождения Чердожак представлены хорошо ограненными кристаллами призматически-дипирамидальной формы и темно-коричневой окраски, содержат в небольшом количестве Li (7,80–50,54 г/т), Cs (1,45–41,52 г/т), Be (0,40–1,42 г/т) и являются слабо танталоносными Ta (6–140 г/т). Напротив, касситериты Юбилейного пегматитового месторождения имеют преимущественно черную окраску, в них установлена высокая концентрация Ta (более 5975 г/т) и повышены содержания редких щелочей Li (12950 г/т) и Cs (217,7 г/т), а также Be (320,7 г/т). Кроме макро выделений, касситериты встречаются в виде микровключений в пегматитах K-Na типа, лепидолитовом грейзене и цветном минеральном комплексе (рис. 2).

Танталит в рудах Бакенного, Юбилейного и Кварцевого месторождений встречается в виде кристаллов, вкрапленных зерен и микровключений (рис. 3). Преобладают его марганцовистые разновидности с высокой концентрацией Sn (до 53890 г/т) и W (до 2218 г/т) и повышенными содержаниями редких щелочей (г/т): Li (до 340), Rb (до 223–1174) и Cs (до 162). Кроме того, танталиты содержат примеси Ti (до 5469), Zr (1185–3459) и Hf (до 8887). Впервые в них выявлены высокие концентрации золота (до 11201 г/т) при содержании Ag (до 15,4), Pt (до 69,6) и U (до 998). Содержание золота в танталите подтверждается результатами растровой микроскопии (весовое значение Au 1,2 %) и рентгеноструктурным анализом.

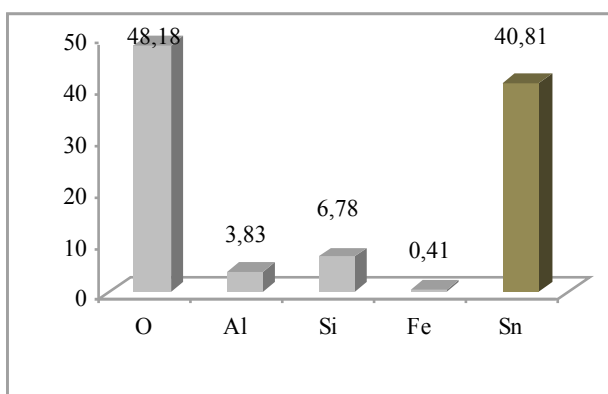
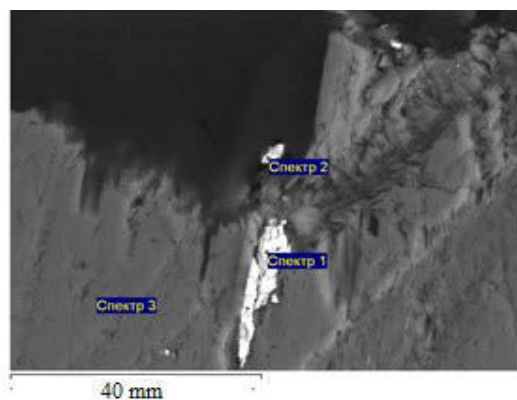


Рис. 2. Зерно касситерита в пегматитах К-На типа Юбилейного месторождения.

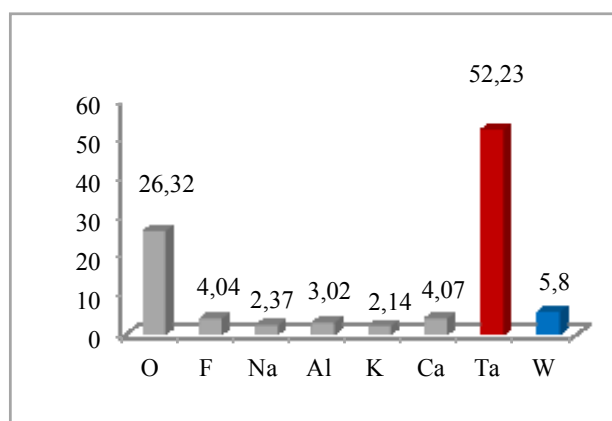
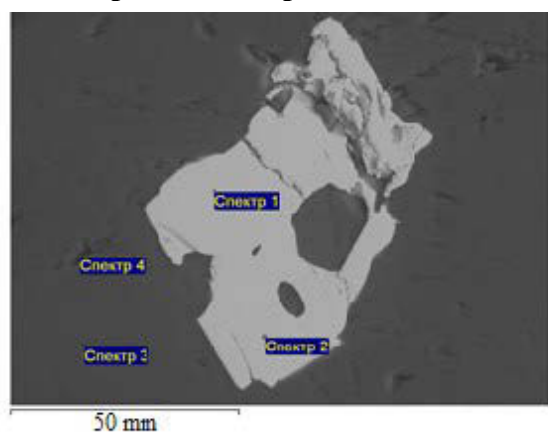


Рис. 3. РЭМ-изображение танталита в лепидолитовом грейзене Юбилейного месторождения.

Таким образом, исследованиями в Калба-Нарымской зоне дополнительно обоснована пространственная и генетическая связь редкометалльно-пегматитовых месторождений с гранитами калбинского комплекса (P_1), образование которых происходило в нестандартных геолого-структурных условиях (месторождения Бакенное, Юбилейное, Красный Кордон и др.). В результате масс-спектрометрического анализа в мономинеральных фракциях породообразующих и рудных минералах выявлены повышенные концентрации редких элементов (Ta, Nb, Sn) и редких щелочей (Li, Rb, Cs), которые представляются индикаторами редкометалльного рудообразования в различных типах гранитов и пегматитов. Кроме редких металлов, в породообразующих минералах установлены повышенные содержания многих других элементов (Fe, Mn, Ti, B, P, Cu, Pb, Zn, Sb, Au и др.), отражающих специфику состава кристаллизующихся гранитоидных расплавов и объясняющих новообразование в редкометалльных рудах пирита, арсенопирита, антимонита, турмалина, апатита, сфалерита и других минералов.

Впервые по результатам электронной микроскопии изучено распределение элементов-примесей в рудных минералах (касситеритах и танталитах) и намечены их индикаторные признаки. Научный интерес представляет установление высоких концентраций Au, Pt, U в танталитах редкометалльных пегматитовых месторождений, что заслуживает дальнейшего изучения и анализа. На основе современных методов

лабораторных исследований получена новая информация о редкометалльной специализации гранитоидов калбинского комплекса Калбы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большой Алтай (геология и минералогия). Кн. 1–2. Алматы: Гылым, 1998. 304 с.
2. Дьячков Б.А., Майорова Н.П., Щерба Г.Н., Абдрахманов К.А. Алматы: Гылым, 1994. 208 с.
3. Дьячков Б.А. Генетические типы редкометалльных месторождений Калба-Нарымского пояса. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. 130 с.
4. Загорский В.Е., Владимиров А.Г., Макагон В.М. и др. Крупные поля сподуменовых пегматитов в обстановках рифтогенеза и постколлизийных сдвигово-раздвиговых деформаций континентальной литосферы // Геология и геофизика, 2014. Т. 55. № 2. С. 237–251.
5. Лопатников В.В., Изох Э.П., Ермолов П.В. и др. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. М.: Наука, 1982. 248 с.
6. Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование: Материалы Второго Российско-Казахстанского междун. научн. совещ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 195 с.
7. Ткачев А.В. Глобальные металлогенические циклы в истории Земли. Автореф. докт. диссертации. М., 2012. 45 с.
8. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Нахтигаль Г.П. Металлогения Рудного Алтая и Калбы. Алма-Ата: Наука, 1984. 240 с.
9. Mataibayeva I.E., Dyachkov B.A., Chernenko Z.I. et al. The content of tantalum in granitoids of Kalba / Materials of International scientific and practical conference «Green economy is the future of humanity» 24, 25 th of May. Part V. Ust-Kamenogorsk, 2014. P. 285–296.