

Закономерности формирования и оценка перспектив сподуменовых пегматитов Калба-Нарымской зоны (Восточный Казахстан)

¹**ДЬЯЧКОВ Борис Александрович**, д.г.-м.н., профессор, bdyachkov@mail.ru,

^{1*}**МИЗЕРНАЯ Марина Александровна**, к.г.-м.н., ассоциированный профессор, mizernaya58@bk.ru,

¹**ЗИМАНОВСКАЯ Наталья Александровна**, PhD, ассоциированный профессор, nata_zim@mail.ru,

¹**АГАЛИЕВА Бакытгуль Болатбеккызы**, докторант, agalieva_00@mail.ru,

¹**ЕРКИНБЕК Еркежан Амантайкызы**, докторант, ms.tea.90@mail.ru,

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Казахстан, 070004, Усть-Каменогорск, ул. А.К. Протозанова, 69,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Рассматриваются особенности формирования, критерии прогнозирования и оценки литиеносных пегматитов Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. Подчеркивается структурно-генетическая связь ведущих типов редкометалльных месторождений (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn, W, TR) с гранитоидами Калба-Нарымского пояса, сформированными в постколлизийной орогенной геодинамической обстановке пермского времени. Геолого-генетическая модель отражает пространственно-генетическую связь пегматитовых месторождений (Бакенное, Юбилейное и др.) с гранитами калбинского комплекса (285 млн лет) нормального ряда натриево-калиевой серии, стадийное развитие минеральных комплексов от олигоклаз-микроклинового (безрудного) до микроклин-альбитового и альбитового (рудных) с размещением сподуменсодержащих и цезиеносных пегматитов в верхней части зональной рудной колонны. Выделяется также перспективный тип литиеносных пегматитов с наложенной альбит-сподуменовый минерализацией (Sn, Ta, Li), ассоциирующих с более ранними плагиогранитами и дайками кунушского комплекса – 305 млн лет (Ахметкино, Точка, Алдай и др.). Минералы-индикаторы оруденения: альбит, клевеландит, сподумен, циматолит, танталит-колумбит. Эти объекты рассматриваются в качестве дополнительного литиевого сырья и заслуживают изучения.

Ключевые слова: Калба-Нарымская зона, редкие металлы, граниты, плагиограниты, пегматиты, литиевое сырье, прогнозирование.

Введение

Калба-Нарымский пояс является главной редкометалльной структурой Большого Алтая, объединяет многие месторождения и рудопроявления пегматитового, альбитит-грейзенового апогранитного, грейзеново-кварцевожильного, гидротермально-кварцевожильного и кластогенно-россыпного типов. Ведущая металлогеническая специализация – Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn, W, TR. По районированию выделяются четыре рудных района (Шульбинский, Северо-Западно-Калбинский, Центральнo-Калбинский и Нарымский), две рудные зоны (Киинско-Гремячинская, Карагоин-Сарыозекская) и 22 рудных узла. Главными являются месторождения редкометалльных пегматитов (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn), которые разрабатывались Белогорским горно-обогатительным комбинатом (Бакенное, Юбилейное, Белая Гора и др.), но в настоящее время законсервированы. Крупная Асубулакская россыпь танталита и мел-

кие россыпные месторождения вольфрамитa, шепелита и касситерита в основном отработаны. [1].

Особенности геологического строения и металлогении

Основные закономерности формирования и размещения редкометалльных месторождений Калба-Нарымского пояса (КНП) рассмотрены в ряде работ [2-4]. Структурно-металлогеническая модель КНП отражает связь редкометалльных рудно-магматических систем с глубинными зонами ЗК повышенной сиаличности (мощность ЗК до 52-55 км, увеличенная толщина метагранитного слоя до 12 км и уменьшенная мощность метабазальта до 14-18 км) [5]. Главные месторождения литиеносных пегматитов сформировались в Центральнo-Калбинском блоке повышенной тектонической активности, надвинутым на Иртышскую зону смятия и амплитудой 15-20 км, в котором создавались благоприятные нестандарт-

ные РТ-условия для процессов рудообразования. Рассматриваемый рудный район характеризуется многофазными гранитоидными массивами, более интенсивной разрывной тектоникой, широким развитием метасоматических процессов (альбитизация, грейзенизация, окварцевание) и другими признаками [6].

Основные рудные поля контролируются регматической системой широтных региональных разломов древнего заложения (Киинско-Гремячинский, Асубулак-Плачгоринский, Белогорско-Первомайский), подновленных в герцинский цикл в орогенную стадию (Огневско-Бакенное, Асубулакское и др.). Геолого-генетическая модель рудообразования отражает пространственно-генетическую связь редкометалльного пегматитового оруденения преимущественно со средне-крупнозернистыми биотитовыми гранитами I главной фазы калбинского комплекса (P₁) при ритмично-пульсационном поступлении рудоносных растворов-расплавов (H₂O, F, B, Cl, CO₂, Ta, Nb, Be и др.) из внутрикоровых магматических очагов [3]. Рудомещающие граниты относятся к нормальному ряду натриево-калиевой низкоплюмазитовой серии (Ka=0,69), высокоглиноземистые и умеренной основности, занимают промежуточное положение между нормальными гранитами и гранодиоритами. Характеризуются повышенными содержаниями редких щелочей $\Sigma\text{Li}+\text{Rb}+\text{Cs}=534$ г/т и геохимически специализированы на Ta, Nb, Li, Sn, фиксируемых в основном в биотите (Ta-17,97; Nb-106,4; Sn-54,04; Li-1280 г/т).

Рудоотложение происходило синхронно со становлением гранитных массивов в обстановке повышенной активности трещинно-разрывной тектоники и неравномерных РТ-условиях (Т – рудообразования – 600-220°C, Р – от 2000-280 атм.) [7]. Пегматитовые жилы локализовались в эндоконтактах гранитных массивов и в роговиках надинтрузивной зоны (тамырская свита D3). Пульсационное поступление рудоносных пегматитообразующих флюидов определило зональное строение рудных полей и месторождений, стадийное развитие минеральных комплексов от графического и олигоклаз-микроклинового (безрудных) до микролин-альбитового, альбитового, сподуменсодержащих и цезиеносных цветных (рудных). Наиболее продуктивны однокорневые стволые пегматитовые жилы сложной морфологии и вещественного состава, содержащие танталоносные кварц-клевеландит-лепидолит-сподуменовые комплексы во внутренних утолщенных частях рудных тел.

Основные характеристики литиеносных пегматитов

Литиеносные пегматиты Калба-Нарымской зоны относятся к ведущей формации редкометалльных пегматитов и представлены альбит-сподуменовой субформацией. Все известные месторождения расположены в Центрально-Кал-

бинском рудном районе и обрабатывались в 1960-90-е годы (Бакенное, Юбилейное, Белая Гора, Верхняя Баймурза и др.). Месторождения характеризуются жильно-корневой морфоструктурой с локализацией рудных тел в виде линейных пучков, контролируемых разломами. Наиболее продуктивные альбит-сподуменовые жилы размещаются в висячем боку рудоносных пучковых зон. Литиеносные пегматиты содержат уникальных комплекс редкометалльных минералов: клеветандит, лепидолит, сподумен, амблигонит, поллуцит, цветные турмалины, касситерит, танталит, микролит и др., что сближает их с зарубежными пегматитовыми месторождениями (Берник-Лейк в Канаде, Бикита в Зимбабве, Гринбушес в Австралии, Коктогай в Китае и др.) [8-10].

Главный литиевый минерал – сподумен (LiAl[Si₂O₆]). Он концентрируется преимущественно в кварц-клевеландит-сподуменовом комплексе. Образует мелкие и отдельные крупные кристаллы призматического облика, размером до 40 см и гнездовидные скопления (1-2 м) в поперечнике.

По данным растровой электронной микроскопии в сподумене выявлены микровключения касситерита (Sn-34,51%) и вкрапленность шеелита с примесью тантала (W-45,67, Ta-10,27%). Кроме того, отмечаются тонкодисперсные включения сфалерита с примесью свинца (Zn-13,38, Pb-7,53%) и самородные элементы (Pb, Zn, As).

По результатам масс-спектрометрии в сподумене установлено высокое содержание (г/т): Li (до 55260) при небольшом значении Rb (10,81) и Cs (5,24) (таблица). По содержанию Li и Ta он близок к сподумену пегматитового месторождения Коктогай в Китае, но отличается от него повышенной оловоносностью и меньшим значением Be и Cs. Благороднометалльная группа элементов представлена Ag(17,52), Au(0,22) и Sb(40,30). Выявляются аномальные содержания халькофильных элементов (Pb-410,60; Cu-107,30; Zn-116,4) и сидерофильных (Cr-109; Ni-117,8). Среди рассеянных элементов повышены значения Ga(83,40%) и Ge(19,59). Таким образом, исследования показывают, что сподумен содержит широкий спектр редких (Li, Ta, Nb, Sn, W) и других элементов, является одним из главных минералов-индикаторов редкометалльного пегматитообразования.

Установлена также повышенная концентрация лития в слюдах разного состава и окраски (г/т): мусковитах (413,9-6545), жильбертите (3835), лепидолите (16240) [10].

Концентрация лития в рудах Бакенного месторождения достигает 2,5%, что сопоставимо с рудами месторождения Гринбушес [10]. По главным объектам Калбы подсчитаны запасы Ta, Be, Sn, Li, Cs по категориям A+B+C₁ и C₂. Запасы литиевой руды подсчитывались на общую массу пегматитовых жил при среднем содержании лития на Бакенном месторождении (0,119%) и на Юбилейном (0,306%). При обработке этих место-

рождений литий из руд не извлекался. Ревизионное обследование объектов показывает, что здесь еще сохранились альбит-сподуменовые жилы на поверхности и, возможно, на глубине.

Обсуждение результатов

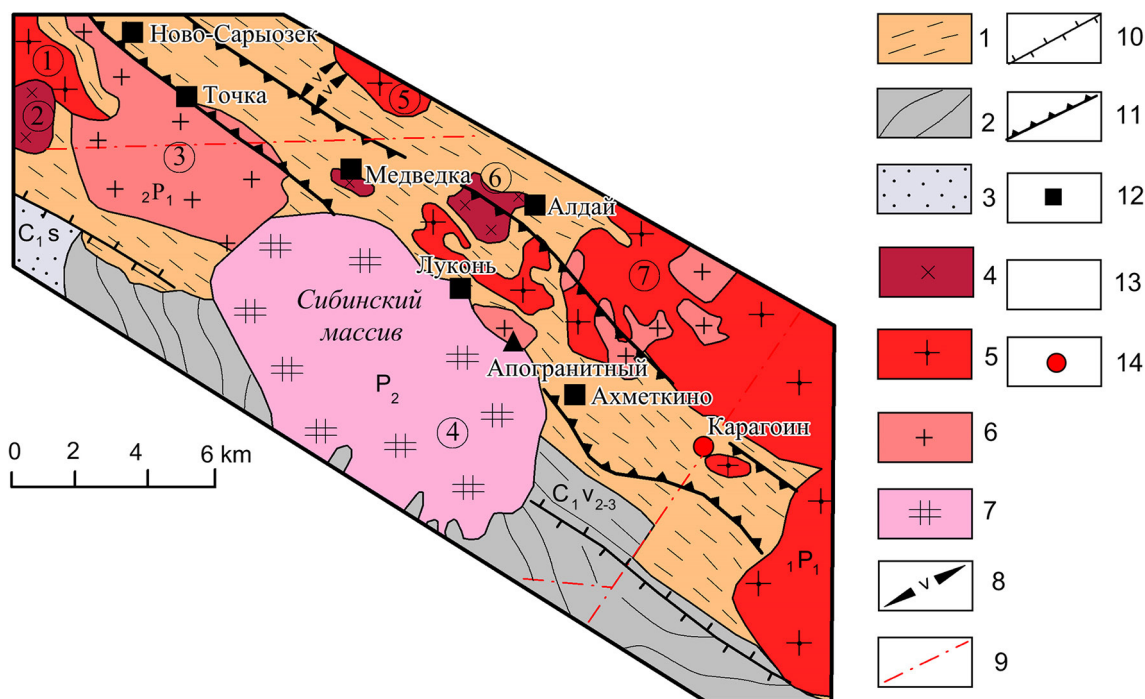
Карагоин-Сарыозекская рудная зона является наиболее перспективной для выявления альбит-сподуменовых объектов практической значимости. Эта рудоносная структура сформировалась в пределах тектонически ослабленной зоны северо-западного направления протяженностью 60 км при ширине 4-6 км [9]. Охватывает эндо- и экзоконтактные зоны гранитных массивов калбинского и монастырского комплексов (Шубаршоки, Дворянский, Ешкульмес, Сибин-

ский) и метаморфизированные осадочные породы такырской свиты (рисунок).

Главная особенность строения рудной зоны заключается в пространственной сближенности и совмещенности интрузивно-дайкивого пояса кунушского комплекса (C_3) и гранитоидов, жильных полей калбинского комплекса (P_1), прорывающих осадочно-метаморфическую толщу такырской свиты (D_3). Здесь сформировались месторождения и рудопроявления особого рудно-формационного типа с наложенным редкометалльным оруденением, характеризующиеся значительными прогнозными ресурсами литиевых руд с высокой концентрацией Li и бедным содержанием Ta, Be, Sn (Ахметкино, Кенебай, Точка, Алдай, Ново-Сарыозек, Каркаралы и др.) [8,9,10].

Содержание редких элементов в сподуменах Бакенного месторождения (г/т)

№ п/п	№ породы	Ta	Nb	Be	Li	Rb	Cs	Sn	W	Mo
1	Ж-100-6(1)	11,27	7,32	1,49	55260	10,81	5,24	217,4	17,5	1,27
2	Ж-100-6(2)	60,90	62,40	1,49	14610	26,60	7,14	146,9	0,90	1,22
3	О-25	0,30	2,64	1,17	48130	114,0	15,54	69,29	7,59	1,30
4	М-4	2,67	8,57	1,00	34500	74,70	54,70	210,0	0,23	1,12
5	СП	84,15	41,76	102,0	53040	24,07	33,13	3,85	1,30	38,21
6	Б-1	1,2	4,6	44,1	31150	17,7	18,1	91,41	0,79	23,45
7	Ю-1	3,6	13,7	1,06	20070	12,4	256,8	59,63	0,94	4,17



1 – отложения такырской; 2 – бурабайской и 3 – даланкаринской свит; 4 – плагиограниты, гранодиориты кунушского комплекса; 5-6 – калбинский комплекс (5 – средне-крупнозернистые биотитовые граниты I фазы; 6 – мелко-среднезернистые мусковитизированные граниты II фазы); 7 – лейкограниты монастырского (P_2) и 8 – гранит-порфиры миролубовского (P_2-T_1) комплексов; 9 – разрывные нарушения; 10 – границы рудного пояса и 11 – рудной зоны; 12 – альбит-сподуменовые, 13 – альбитит-грейзеновые и 14 – кварцевожильные оловорудные объекты

Геологическое строение Карагоин-Сарыозекской рудной зоны (составила Т.А. Ойцева)

Закключение

В Восточно-Казахстанском регионе главные типы редкометалльных месторождений сформировались в постколлизийной геодинамической обстановке и пространственно размещаются в Калба-Нарымском гранитоидном поясе. Ведущее значение имели месторождения редкометалльных пегматитов с комплексным оруденением (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn), генетически связанные с гранитами калбинского комплекса (P₁). Основные месторождения и рудопроявления сформировались в Центрально-Калбинском блоке повышенной тектонической нарушенности в мобильных геологических условиях. Литиеносные сосредоточены в основном в Огневско-Бакенном, Асубулакском и Белогорско-Баймурзинском рудных полях, контролируемых субширотными региональными разломами. Среди редкометалльных пегматитовых объектов альбит-сподуменовые пегматиты являются самыми молодыми образованиями и размещаются в вертикальной части рудной колонны.

По богатству уникальных минералов они близки к зарубежным пегматитовым месторождениям (Коктогай, Берник-Лейк, Зимбабве и др.), но отличаются от них меньшими масштабами оруденения. В Карагоин-Сарыозекской рудной зоне выделяется особая группа редкометалльных объектов с наложенным типом оруденения (Ta, Nb, Be, Li и др.), ассоциирующих с малыми интрузиями и дайками кунушского комплекса [10]. Практическое значение придается альбит-сподуменовым пегматитам, локализованным в надинтрузивных зонах, апофизах и в виде лестничных жил в небольших массивах плагиогранитов (Ахметкино, Точка, Алдай, Луконь, Кенебай и др.). Минералы-индикаторы оруденения – альбит, клевеландит, циматолит. По новым результатам электронной микроскопии в альбит-сподуменовых пегматитах повышено содержание лития (более 1%). Указанные объекты являются дополнительными источниками литиевого сырья и заслуживают дальнейшего изучения.

Статья выполнена по результатам исследований по гранту Министерства экологии и геологии РК BR10264558.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dyachkov B., Mizernaya M., Kuzmina O., Zimanovskaya N., Oitseva T. Tectonic and Metallogeny of East Kazakhstan // Tectonics – Problems of regional settings, 2018, pp. 67-84.
2. Щерба Г.Н., Беспяев Х.А., Дьячков Б.А., Мыслик А.М., Ганженко Г.Д., Сапаргалиев Е.М. Большой Алтай (геология и металлогения). Металлогения. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
3. Дьячков Б.А. Генетические типы редкометалльных месторождений Калба-Нарымского пояса. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. – 130 с.
4. Лопатников В.В., Изох Э.П., Ермолов П.В., Пономарева А.П., Степанов А.С. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. – М.: Наука, 1982. – 248 с.
5. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Нахтигаль Г.П. Металлогения Рудного Алтая и Калбы. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 240 с.
6. Oitseva T.A., Dyachkov B.A., Vladimirov A.G., Kuzmina O.N., Ageeva O.V. New data on the substantial composition of Kalba rare metal deposits // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Tomsk, 2017. – № 110. – pp. 1-10.
7. Садовский Ю.А., Степаненко Н.И., Пушко Е.П., Михайлов А.Г., Зимин О.Г. Об основных параметрах и флюидном режиме становления редкометалльных гранитных пегматитов // Геология, геохимия и минералогия месторождений редких элементов. Выпуск № 5. КазИМС. – Алма-Ата, 1978, С. 51-72.
8. Загорский В.Е., Макагон В.М., Шмакин Б.М., Макрыгна В.А., Кузнецова Л.Г. Редкометалльные пегматиты // Гранитные пегматиты. – Новосибирск: Наука, 1997. – Т. 2. – 285 с.
9. Шмакин Б.М. Пегматитовые месторождения зарубежных стран. – М.: Недра, 1987. – 224 с.
10. Cao M., Zhou Q.-F., Qin K. Z., Tang D.-M., Evans N. The tetrad effect and geochemistry of apatite from the Altay Koktokay No. 3 pegmatite, Xinjiang, China: implications for pegmatite petrogenesis // Mineralogy and Petrology, Vol. 107, № 6 (2013), pp. 985-1005.

Қалба-Нарым аймағының литийлі пегматиттерін болжау және бағалау әдістемесі (Шығыс Қазақстан)

¹ДЬЯЧКОВ Борис Александрович, г.-м.ф.д., профессор, bdyachkov@mail.ru,

^{1*}МИЗЕРНАЯ Марина Александровна, г.-м.ф.к., қауымдастырылған профессор, mizernaya58@bk.ru,

¹ЗИМАНОВСКАЯ Наталья Александровна, PhD, қауымдастырылған профессор, nata_zim@mail.ru,

¹АГАЛИЕВА Бакытгуль Болатбекқызы, докторант, agalieva_00@mail.ru,

¹ЕРКИНБЕК Еркежан Амантайқызы, докторант, ms.tea.90@mail.ru,

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан, 070004, Өскемен, А.К. Протозанов көшесі, 69,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Шығыс Қазақстанның Қалба-Нарым аймағының литийлі пегматиттерін қалыптастыру ерекшеліктері, болжау және бағалау критерийлері қарастырылады. Пермь уақытының коллизиядан кейінгі (орогендік) геодинамикалық жағдайында қалыптасқан Қалба-Нарым белдеуінің гранитоидтарымен сирек кезде-

сетін металл кен орындарының (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn, W, TR) жетекші түрлерінің құрылымдық-генетикалық байланысы атап өтілді. Геологиялық-генетикалық модель негізгі сирек металды пегматит кен орындарының (Бакенное, Юбилейное және т.б.) натрий-калий сериясының қалыпты қатарындағы Қалба кешенінің граниттерімен (285 млн жыл) кеңістік-генетикалық байланысын, аймақтық кен колоннасының жоғарғы бөлігінде сподумен бар және цезий жылдам пегматиттерді орналастыра отырып, олигоклаз-микроклиматтан (кенсіз) бастап микроклимат-альбит және альбит (кенді) дейінгі минералдық кешендердің кезеңдік дамуын көрсетеді. Дәстүрлі гранит пегматит кен орындарынан басқа, кунуш кешенінің бұрынғы плагиограниттерімен және дайкаларымен байланыстыратын альбитті-сподумент минералдануы (Sn, Ta, Li) бар литийлі пегматиттердің перспективасы түрі бөлінеді – 305 млн жыл (Ахметкино, Точка, Алдай және т.б.). Минералдар-кендену көрсеткіштері: альбит, клевеландит, сподумен, циматолит, танталит-колумбит. Бұл нысандар қосымша литий шикізаты ретінде қарастырылады және қосымша зерттеуге лайық.

Кілт сөздер: Қалба-Нарым аймағы, сирек металдар, граниттер, плагиограниттер, пегматиттер, литий шикізаты, болжау.

The Methodology of Forecasting and Evaluation of Lithium-Bearing Pegmatites of the Kalba-Narym Zone (East Kazakhstan)

¹DYACHKOV Boris, Dr. Geol. and Min. Sci., Professor, bdyachkov@mail.ru,

¹*MIZERNAYA Marina, Cand. Geol. and Min. Sci., Associate Professor, mizernaya58@bk.ru,

¹ZIMANOVSKAYA Nataliya, PhD, Associate Professor, nata_zim@mail.ru,

¹AGALIYEVA Bakitgyl, doctoral student, agalieva_00@mail.ru,

¹YERKIMBEK Yerkezhan, doctoral student, ms.tea.90@mail.ru,

¹D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Kazakhstan, 070004, Oskemen, A.K. Protozanov Street, 69,

*corresponding author.

Abstract. The features of the formation, prediction criteria and evaluation of lithium-bearing pegmatites of the Kalba-Narym zone of Eastern Kazakhstan are considered. The structural and genetic relationship of the leading types of rare metal deposits (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn, W, TR) with the granitoids of the Kalba-Narym belt formed in the post-collisional (orogenic) geodynamic environment of the Permian time is emphasized. The geological and genetic model reflects the spatial and genetic relationship of the main rare-metal pegmatite deposits (Bakennoye, Yubileynoye, etc.) with the granites of the Kalba complex (285 million years) of the normal series of sodium-potassium series, the stage development of mineral complexes from oligoclase-microcline (oreless) to microcline-albite and albite (ore) with the placement of spodumene-containing and cesium-bearing pegmatites in the upper part of the zonal ore column. In addition to the traditional granite pegmatite deposits, there is a promising type of lithium-bearing pegmatites with superimposed albite-spodumene mineralization (Sn, Ta, Li) associated with earlier plagiogranites and dikes of the Kunush complex – 305 million years (Akhmetkino, Tochka, Aldai, etc.). Minerals-indicators of mineralization: albite, clevelandite, spodumene, cymatolite, tantalite-columbite. These objects are considered as additional lithium raw materials and deserve additional study.

Keywords: Kalba-Narym zone, rare metals, granites, plagiogranites, pegmatites, lithium raw materials, forecasting.

REFERENCES

1. Dyachkov B., Mizernaya M., Kuzmina O., Zimanovskaya N., Oitseva T. Tectonic and Metallogeny of East Kazakhstan // Tectonics – Problems of regional settings, 2018, pp. 67-84.
2. Shcherba G.N., Bespaev H.A., D'yachkov B.A., Mysnik A.M., Ganzhenko G.D., Sapargaliev E.M. Bol'shoj Altaj (geologiya i metallogeniya). Metallogeniya. – Almaty: RIO VAK RK, 2000. – 400 p.
3. D'yachkov B.A. Geneticheskie tipy redkometall'nyh mestorozhdenij Kalba-Narymskogo poyasa. – Ust'-Kamenogorsk: VKGTU, 2012. – 130 p.
4. Lopatnikov V.V., Izoh E.P., Ermolov P.V., Ponomareva A.P., Stepanov A.S. Magmatizm i rudonosnost' Kalba-Narymskoj zony Vostochnogo Kazakhstana. – Moscow: Nauka, 1982. – 248 p.
5. Shcherba G.N., D'yachkov B.A., Nahtigal' G.P. Metallogeniya Rudnogo Altaya i Kalby. – Alma-Ata: Nauka, 1984. – 240 p.
6. Oitseva T.A., Dyachkov B.A., Vladimirov A.G., Kuzmina O.N., Ageeva O.V. New data on the substantial composition of Kalba rare metal deposits // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Tomsk, 2017. – No. 110. – pp. 1-10.
7. Sadvoskij Yu.A., Stepanenko N.I., Pushko E.P., Mihajlov A.G., Zimin O.G. Ob osnovnyh parametrah i flyuidnom rezhime stanovleniya redkometall'nyh granitnyh pegmatitov // Geologiya, geohimiya i mineralogiya mestorozhdenij redkih elementov. Vypusk no. 5. KazIMS. – Alma-Ata, 1978, pp. 51-72.
8. Zagorskij V.E., Makagon V.M., Shmakina B.M., Makrygna V.A., Kuznecova L.G. Redkometall'nye pegmatity // Granitnye pegmatity. – Novosibirsk: Nauka, 1997. – T. 2. – 285 p.
9. Shmakina B.M. Pegmatitovye mestorozhdeniya zarubezhnyh stran. – Moscow: Nedra, 1987. – 224 p.
10. Cao M., Zhou Q.-F., Qin K. Z., Tang D.-M., Evans N. The tetrad effect and geochemistry of apatite from the Altay Koktokay No. 3 pegmatite, Xinjiang, China: implications for pegmatite petrogenesis // Mineralogy and Petrology, Vol. 107, no. 6 (2013), pp. 985-1005.