

Код МРНТИ 38.41.19

\*Е.Е. Акбаров<sup>1</sup>, А.О. Байсалова<sup>1</sup>, А.В. Долгополова<sup>2</sup>, Р. Зельтманн<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет  
им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Республика Казахстан),  
<sup>2</sup>Музей Истории Естествознания (г. Лондон, Великобритания)

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕДКОМЕТАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АХМЕТКИНО (ВКО)

**Аннотация.** В данной статье приводится общая характеристика вещественного состава гранитов и редкометалльных пегматитов месторождения Ахметкино (Восточно-Казахстанская область). Минеральный и химический состав пегматитов исследовался с помощью поляризационного микроскопа, рентгеноструктурного, микрозондового, спектрального и пламенно-спектрофотометрического анализов. Основные литиевые минералы представлены сподуменом, петалитом, цинвальдитом и лепидолитом, содержание лития в них колеблется от 0,005 до 0,2%. Геохимические исследования показали, что граниты и редкометалльные пегматиты обогащены такими элементами, как Li, Be, Ta, Sn, Co, Cu, Pb, Y, Yb, Ti, Zr, Ag, Au, Ni, V, As, Zn, Mo, Sb, Ba, Sr, Ce, La, Cr, Bi. Учитывая спрос и цены на литий в настоящее время, освоение месторождения Ахметкино в комплексе с другими литийсодержащими месторождениями Калба-Нарымского рудного поля может стать рентабельным.

**Ключевые слова:** Ахметкино, Восточный Казахстан, пегматит, гранит, литий.

### Ахметкино (ШҚО) сирек металдар кенорнының минералогиялық және геохимиялық ерекшеліктері

**Андатпа.** Бұл мақалада Ахметкино кенорнының (Шығыс Қазақстан облысы) граниттер мен сирек-металды пегматиттерінің заттық құрамының жалпы сипаттамасы берілген. Пегматиттердің минералдық және химиялық құрамы поляризациялық микроскоптың, рентгендік дифракцияның, микрозондтың, спектрлік және жалындық спектрофотометриялық талдаулардың көмегімен зерттелді. Литийдің негізгі минералдары: сподумен, петалит, цинвальдит және лепидолит, олардағы литий мөлшері 0,005-тен 0,2%-ға дейін. Геохимиялық зерттеулер граниттер мен сирек металды пегматиттер Li, Be, Ta, Sn, Co, Cu, Pb, Y, Yb, Ti, Zr, Ag, Au, Ni, V, As, Zn, Mo, Sb, Ba, Sr, Ce, La, Cr, Bi. Литийге қазіргі сұраныс пен бағаны ескере отырып, Ахметкино кен орнын Калба-Нарым кен орнының құрамында литий бар басқа кен орындарымен бірге игеру тиімді болуы мүмкін.

**Түйінді сөздер:** Ахметкино, Шығыс Қазақстан, пегматит, гранит, литий.

### Mineralogical and geochemical features of the rare metal deposit Akhmetkino (EKR)

**Annotation.** This article provides a general description of the material composition of granites and rare-metal pegmatites of the Akhmetkino deposit (East Kazakhstan region). The mineral and chemical composition of pegmatites was studied using a polarizing microscope, X-ray diffraction, microprobe, spectral and flame spectrophotometric analyses. The main lithium minerals are spodumene, petalite, zinnwaldite, and lepidolite; the lithium content in them ranges from 0.005 to 0.2%. Geochemical studies have shown that granites and rare-metal pegmatites are enriched in such elements as Li, Be, Ta, Sn, Co, Cu, Pb, Y, Yb, Ti, Zr, Ag, Au, Ni, V, As, Zn, Mo, Sb, Ba, Sr, Ce, La, Cr, Bi. Given the current demand and prices for lithium, the development of the Akhmetkino deposit in combination with other lithium-bearing deposits of the Kalba-Narym ore field may become profitable.

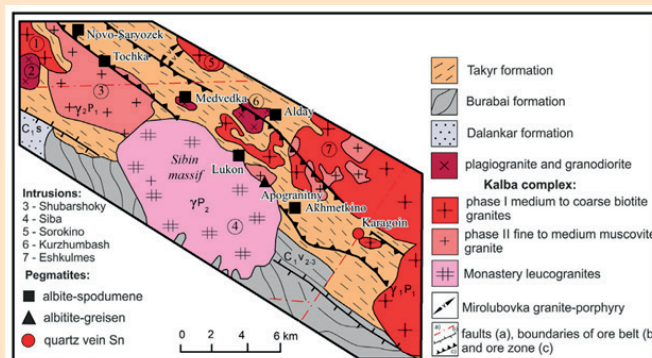
**Key words:** Akhmetkino, East Kazakhstan, pegmatite, granite, lithium.

### Введение

Всемирный переход к низкоуглеродной зеленой экономике с рациональным использованием ресурсов повлиял на резкое увеличение спроса на литий. В последние годы литий широко используется в литий-ионных аккумуляторах, которые являются неотъемлемой частью смартфонов, компьютеров и электромобилей, и области применения лития постоянно увеличиваются. Отчет Всемирного Банка указывает, что спрос на литий со всем мире к 2050 году увеличится на 500% (Отчет Всемирного Банка, 2020). В связи с этим, спрос на этот металл будет стремительно расти и дальше.

В Казахстане имеются значительные запасы лития, но потенциал лития в качестве самостоятельного месторождения или побочного металла остается недостаточно изученным. За последние 50 с лишним лет геологоразведочными работами было выявлено несколько литиевых зон в Калба-Нарымском рудном поле Восточного Казахстана, а также несколько месторождений редких металлов с повышенным содержанием лития (Sn-W-Nb-Ta: Ахметкино, Ново-Ахмировское, Бакенное и др.) [7] (рис. 1).

Восточный Казахстан известен своими гранитовыми и пегматитовыми месторождениями редких металлов. Формации редкометалльных гранитов представляют собой значительное богатство изучаемого района и были детально изучены А.И. Гинзбургом, С.Г. Шавло, Ю.А. Садовским, Е.П. Пушко и др. Около 90% объектов редкометалльных пегматитов сосредоточено в пределах Северо-Восточной,



**Рис. 1. Геологическое строение Карагойн-Сарыозекской рудной зоны (редкометалльное месторождение Ахметкино) [3].**

**Сурет 1. Карагойн-Сарыозек кен аймағының геологиялық құрылымы (Ахметкино сирек металл кен орны) [3].**

**Figure 1. Geological structure of the Karagoyn-Saryozek ore zone (rare metal deposit Akhmetkino) [3].**

Центральной и Юго-Западной пегматитовых зон. Ранее изучение проявлений редкометалльных гранитных пегматитов и редкометалльных гранитов Калба-Нарымского рудного пояса было направлено на обеспечение, создание и развитие в СССР минерально-сырьевой базы танталового производства. Установление в то время значительных концентраций лития послужило основой для современной

переоценки значимости этих объектов для их комплексного освоения в будущем.

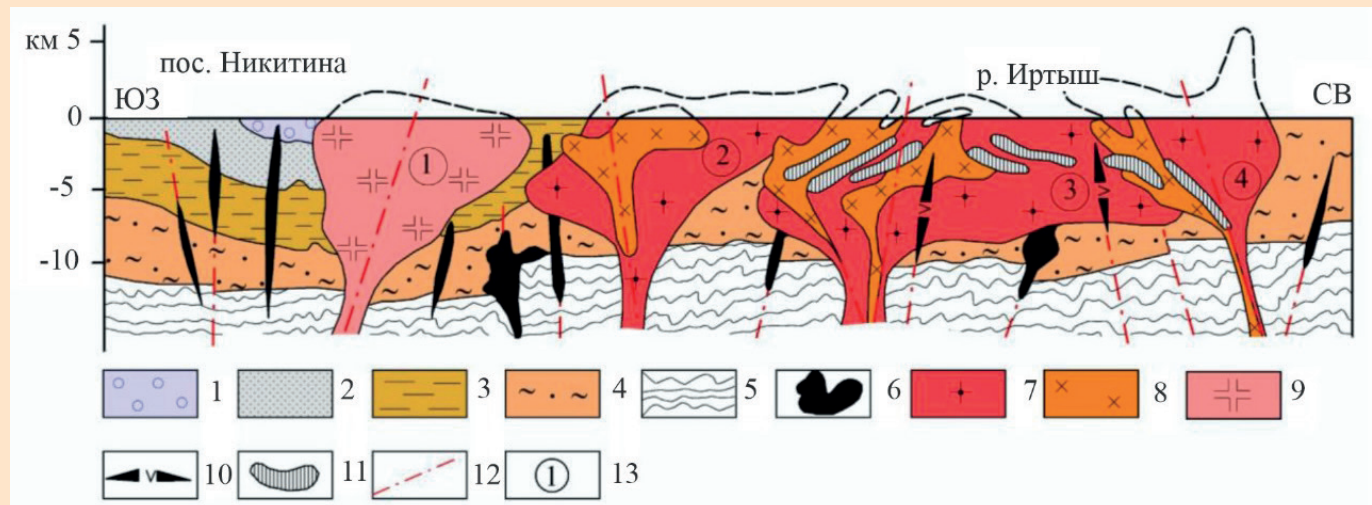
Большинство месторождений и рудопоявлений редких металлов в Восточном Казахстане связано с многостадийными метасоматическими процессами. Пегматоидная формация разделяется на две группы: альбитизированные лейкократовые гранититы и кварц-полевошпатовые пегматоиды. Все крупные объекты размещаются исключительно внутри интрузивов и залегают в краевых зонах гранитов. Наиболее благоприятны для формирования рудных полей участки расслоенного этажного строения гранитных массивов и области сопряжения разломов, а для месторождений и рудных тел – блоки гранитов, ограниченные долгоживущими нарушениями, содержащие останцы и крупные ксенолиты осадочных пород.

По морфогенетическим признакам среди проявлений редкометалльных гранитных пегматитов выделяются три группы пегматитовых рудных полей:

- 1) внутриинтрузивные (глубококорневые);
- 2) ореольные (мелкокорневые);

3) надинтрузивные с корнями на неразведанных глубинах.

Рудные поля локализуются в обстановках, различающихся по особенностям проявления магматических, метаморфических и структурно-тектонических факторов. Из них особенно проявлен магматический контроль. Из выделяемых в пределах описываемого рудного пояса 8 интрузивных комплексов, редкометалльные гранитные пегматиты наиболее тесно связаны с двумя надинтрузивными полями: 1) пегматитами, связанными с гранитоидами Куношского комплекса (C<sub>1</sub>-P<sub>1</sub>); 2) пегматитами, связанными с гранитоидами Калбинского комплекса – являющимися более поздними образованиями и залегающими в эндо- и экзоконтактной зоне крупных гранитных массивов. В позднюю постколлизивную стадию в обстановке внутриплитной активизации локализовались отдельные массивы гранитоидов с бедным оруденением – Sn, W, Be (дельбегетейский комплекс P2) [9]. Они занимают наложенные или подновленные системы рудолокализирующих трещин среди контаминированных



**Рис. 2. Осадочные породы:**

1 – песчаники, сланцы конгломераты Таубинской и Буконьской свит среднего карбона; 2 – полимиктовые и граувакковые песчаники, алевролиты Аркалыкской и Кокпектинской свит нижнего карбона; 3 – песчано-сланцевые флишиоидные отложения Такырской свиты верхнего девона – нижнего карбона; 4 – известковистые песчаники, алевролиты, линзы известняков и глинистые сланцы Кыстав-Курчумской и Пугачевской свит среднего девона; 5 – интенсивно метаморфизованные нерасчлененные песчано-сланцевые толщи нижнего палеозоя. Интрузивные образования: 6 – породы Куношского комплекса; 7-9 – гранитоиды Калбинского комплекса: 7 – порфировидные граниты I фазы, 8 – биотитовые граниты II фазы, 9 – микроклиновые граниты III фазы; 10 – дайки Посткалбинского комплекса; 11 – реликты осадочных толщ в расслоенных участках гранитоидов; 12 – разломы; 13 – массивы (цифры в кружках на схеме): 1 – Себинский, 2 – Чебундинский, 3 – Прииртышский, 4 – Смолянский [3, 4, 10].

**Сурет 2. Шөгінді жыныстар:**

1 – ортаңғы көміртегі Тауба және Букон түзілімдерінің құмтастары, тақтатас конгломераттары; 2 – полимиктикалық және сұр вакті құмтастар, төменгі карбонның Арқалық және Көпекті түзілімдерінің алевролиттері; 3 – жоғарғы девон-төменгі карбон Такыр формациясының құмды-сланецті флишиоидты шөгінділері; 4 – орта девонның Кыстау-Куриш және Пугачев формацияларының әкті құмтастары, алевролиттері, әктас линзалары және тақтатастары; 5 – төменгі палеозойдың қарқынды метаморфизмге ұшыраған бөлінбеген құмды-тақта тізбегі. Интрузивті түзілімдер: 6 – Кунош кешенінің жыныстары; 7-9 – Қалба кешенінің гранитоидтары: 7 – I фазалық порфиритті граниттер; 8 – II фазалық биотитті граниттер; 9 – III фаза микроклинді граниттер; 10 – Қалбадан кейінгі кешеннің дамбалары; 11 – гранитоидтардың қатпарлы аймақтарындағы шөгінді қабаттардың реликтері; 12 – ақаулар; 13 – массивтер (диаграммадағы шеңберлердегі сандар): 1 – Себин, 2 – Чебундин, 3 – Иртыш, 4 – Смолян [3, 4, 10].

**Figure 2. Sedimentary rocks:**

1 – sandstones, shale conglomerates of the Tauba and Bukon formations of the Middle Carboniferous; 2 – polymictic and graywacke sandstones, siltstones of the Arkalyk and Kokpektin formations of the Lower Carboniferous; 3 – sandy-shale flyschoid deposits of the Upper Devonian-Lower Carboniferous Takyr Formation; 4 – calcareous sandstones, siltstones, limestone lenses, and shales of the Kystav-Kurchum and Pugachev formations of the Middle Devonian; 5 – intensively metamorphosed undivided sandy-shale sequences of the Lower Paleozoic. Intrusive formations: 6 – rocks of the Kunush complex; 7-9 – granitoids of the Kalba complex: 7 – phase I porphyritic granites; 8 – phase II biotite granites; 9 – phase III microcline granites; 10 – dikes of the post-Kalba complex; 11 – relics of sedimentary strata in layered areas of granitoids; 12 – faults; 13 – arrays (numbers in circles in the diagram): 1 – Sebin, 2 – Chebundinsky, 3 – Irtyshsky, 4 – Smolyansky [3, 4, 10].

и гибридных гранитов, мигматитов, артеритов и роговиков высокой степени термо-контактового метаморфизма [4]. Здесь, в протяженных жильных зонах, насыщенных дайками гранит-аплитов и безрудных пегматитов, согласно Садовскому, развиты также мелкокорневые колумбит-берилловые пегматиты и поля редкометалльных гранитных пегматитов с внутринтрузивными глубинными корнями и комплексной минерализацией *тантала-ниобия, лития, бериллия, олова и др.*

Наиболее продуктивные редкометалльные гранитные пегматиты развиты в экзоконтактовой зоне, соответствующей андаллузит-силлимантитовому типу метаморфической зональности и кордиерит-амфиболовой фации метаморфизма. Большинство редкометалльных гранитных пегматитов располагается в пределах самого мобильного Центрально-Калбинского блока, ограниченного региональными разломами северо-западного и широтного направлений. Месторождения редкометалльных гранитных пегматитов располагаются в узлах пересечения зон трещиноватости с разломами высоких порядков и направлений, ксенолитами, подновленными структурами догранитного заложения, а также в тектонических клиньях.

Проявления *литий-фтористых* и редкометалльных пегматитов встречаются по периферии и флангах пегматитового пояса в блоках плагитогранитных Калгутинского и Кунушского комплексов. К этому типу редкометалльных пегматитов можно отнести и месторождение *Ахметкино*, открытое в 1954 году. В 1981-1983 гг. на месторождении были проведены поисково-оценочные работы и предварительная разведка. В настоящее время запасы месторождения *Ахметкино* подсчитаны и утверждены по состоянию на 04.12.2014 г. по следующим металлам: пятиокиси тантала, окиси бериллия, окиси лития, пятиокиси ниобия, полевого шпата и кварца [6].

Настоящая статья посвящена изучению минералого-петрографических свойств литиевых минералов и геохимических характеристик месторождения *Ахметкино* с целью определения его перспективности на добычу и переработку лития.

### Геологическое строение

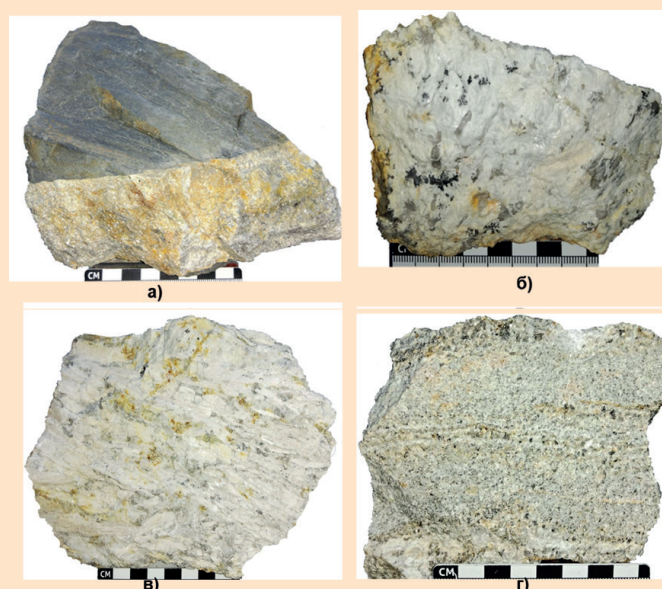
Месторождение *Ахметкино* расположено на территории Уланского района, в юго-восточной части Карагоин-Сарыюзекской тектонической пегматитоносной зоны в экзоконтакте Ешкиульмесского гранитного массива. Тектоническая структура месторождения *Ахметкино*, находящегося среди песчано-сланцевых отложений Такырской свиты (рис. 2), весьма сложная.

Рудные жилы приурочены к тектоническим нарушениям (рис. 3).

Морфология пегматитовых жил в приповерхностной части месторождения сложная, рудные тела представлены короткими чрезвычайно извилистыми кулисообразными жилами, осложненными многочисленными апофизами с резкими изменениями элементов залегания. С глубиной морфология жил значительно упрощается, рудные тела становятся более мощными и выдержанными как по падению, так и по простиранию.



**Рис. 3. Извилистые жильные рудные тела на месторождении Ахметкино.**  
**Сурет 3. Ахметкино кен орнындағы иінді тамырлы кен денелері.**  
**Figure 3. Sinuous vein ore bodies at the Akhmetkino deposit.**



**Рис. 4. Редкометалльные пегматиты из месторождения Ахметкино: а) контакт пегматита с вмещающими породами Такырской свиты; б) кварц-московит полевошпатовый пегматит; в) сподуменовый плагитогранит с директивной структурой; г) мелкозернистый-пегматитовый гранит с полосчатой структурой.**

**Сурет 4. Ахметкино кен орнының сирек металды пегматиттері: а) пегматиттің Тақыр свитасының негізгі жыныстарымен жанасуы; б) кварцты-московиттік дала шпаты пегматиті; в) директивті құрылымы бар сподумен плагитогранит; г) ұсақ түйіршікті пегматитті гранит жолақты құрылым.**  
**Figure 4. Rare-metal pegmatites from the Akhmetkino deposit: a) contact of pegmatite with host rocks of the Takyr suite; b) quartz-muscovite feldspar pegmatite; c) spodumene plagiogranite with a directive structure; d) fine-grained pegmatite granite with a banded structure.**

Наиболее распространенными в пределах участка являются многочисленные дайковые и жильные тела микро-

клин-альбитовых, сподуменово-микроклин-альбитовых пегматитов, аплит-пегматитов и кварц-полевошпатовых пегматитов.

С пегматитами связана редкометалльная минерализация *Ta, Nb, Sn, W, Li, Be*. Наибольший интерес представляет редкометалльное оруденение, связанное с альбит-сподуменовым и микроклин-альбитовым типами (рис. 4б). Микроклин-альбитовые и сподумен-микроклин-альбитовые редкометалльные пегматиты слагают полосу длиной 1400 м и шириной 250 м [5, 8]. Форма пегматитовых тел типично жильная, с раздувами и пережимами, ветвлением и апофизами (рис. 3). Длина жил колеблется от 20-30 до 500 м, а мощность до 20 метров.

### Результаты и дискуссия

#### Петрографическое и геохимическое исследования

Петрографическое изучение пород показало, что в них часто проявлена пленочная структура, характеризующаяся покрытием тонкочешуйчатых минералов (мусковит, серицит) и отдельных зерен полевых шпатов. Породы светлоокрашенные, в основном состоят из лейкократовых минералов (салических элементов). Текстура пегматитов директивная, массивная и полосчатая, реже пегматитовая. Характерна крупно-, средне- мелкозернистая и неравномернозернистая структура с порфиристыми выделениями. По минеральному составу не сильно отличаются. Таким образом, основными породообразующими минералами являются: полевые шпаты (плаггиоклазы и ортоклаз, микроклин, микропертит), кварц и сподумен, мусковит, составляющий 98,23%. Кроме этих минералов часто встречаются топаз, турмалин, петалит, циннвальдит и андаллузит.

Вмещающими породами для пегматитовых и дайковых образований и редкометалльной минерализации являются слабо метаморфизованные, так называемые, кристаллические сланцы Такырской свиты. Эти породы с минеральным парагенезисом кислых пород, относящиеся к метапелитам, были подвергнуты метасоматозу в тектонической зоне, в которых турмалин и андалузит являются порфиристыми выделениями (кристоболиты).

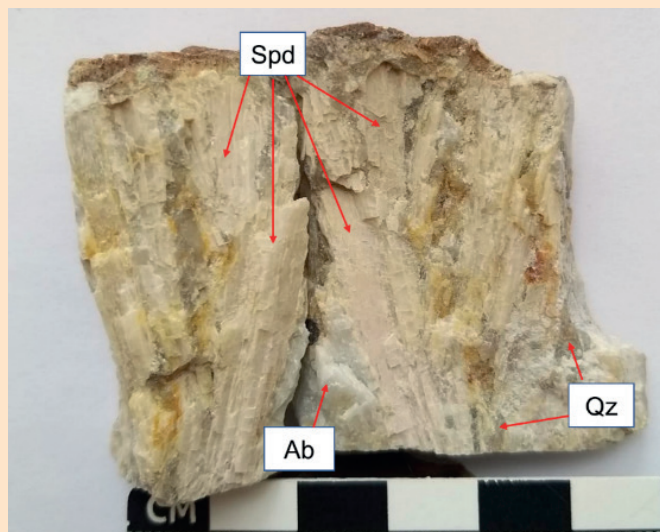
Минеральный состав пегматитов исследуемой жильной зоны не отличается большим разнообразием. Здесь можно выделить несколько структурно-минеральных комплексов: 1) среднезернистый кварцево-полевошпатовый пегматит; 2) топаз-циннвальдит-кварцевый пегматит (проба Ahm-22-4, контакт); 3) топаз-полевошпатово-слюдяной пегматит; среднезернистый кварцево-альбитовый пегматит с гранатом; 4) средне-крупнозернистый кварцево-альбитово-сподуменовый пегматит.

Геохимическое исследование распределения редких элементов показал, что в пегматитовых породах в качестве элементов примесей встречаются *Li, Be, Ta, Sn, Co, Cu, Pb, Y, Yb, Ti, Zr, Ag, Au, Ni, V, As, Zn, Mo, Sb, Ba, Sr, Ce, La, Cr, Bi*. Содержание лития в семи пробах пегматитов было определено пламенно-спектрофотометрическим методом: Ahm 22-1 (91,44 г/т); Ahm 22-2 (6399 г/т); Ahm 22-3 (302 г/т); Ahm 22-4 (381,437 г/т); Ahm 22-5 (34,79 г/т); Ahm 22-6 (37,26 г/т); Ahm 22-8 (41,17 г/т) (табл. 1).

### Минералогическое исследование

По распространенности минералы подразделяются на три группы: главные (породообразующие), второстепенные и акцессорные (редкометалльные и редкоземельные). Среди них наиболее важными являются сподумен, полевые шпаты, мусковит, берилл и минералы колумбита и танталита. Кроме сподумена в этих редкометалльных горных породах встречаются и другие литиевые минералы, в частности петалит (литиевый шпат)  $LiAlSi_4O_{10}$ ; лепидолит  $KLiAlSi_3O_{10}(F,OH)$ , амблигонит  $LiAlSi_4O_{10}$  и др.

**Сподумен ( $LiAlSi_2O_6$ )** является одним из главных породообразующих минералов, который применяется как промышленное сырье для получения лития, а также для производства термостойкой керамики и спецстекла. Он встречается преимущественно в редкометалльных гранитных пегматитах и пегматоидах. Включает примеси таких элементов, как: *Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K*, которые придают минералу разные окраски (светло-желтую, желтую, зеленую, красную и фиолетовую) и разновидности. Сподумен – основной коммерческий литиевый минерал, содержащий от 5,8 до 8% лития (в пересчете на оксид  $Li_2O$ ). Сподумен широко распространен в редкометалльных пегматитах Уланского района месторождений Ахметкино, Бакенное, Ново-Ахмировское и форма его выделения разнообразна (рис. 4в). Так, он встречается в виде кристаллов уплощенно-призматического облика и реже наблюдаются мелкокристаллические ксеноморфные кристаллы. Минерал сероватого и светло-коричневого цвета. Непрозрачный.



**Рис. 5. Кварц-альбит сподуменовый пегматит, месторождение Ахметкино (ВКО). Длиннопризматические кристаллы сподумена (Spd), голубовато-серый альбит (Ab), темно-серые мелкозернистые кристаллы кварца (Qz).**

**Сурет 5. Кварц-альбит сподумен пегматиті, Ахметкино кен орны (ШҚО). Ұзын призмалық сподумен кристалдары (Spd), көкшіл сұр альбит (Ab), қара сұр ұсақ түйіршікті кварц кристалдары (Qz).**

**Figure 5. Quartz-albite spodumene pegmatite, Akhmetkino deposit (VKO). Long prismatic spodumene crystals (Spd), bluish gray albite (Ab), dark gray fine-grained quartz crystals (Qz).**

Таблица 1

Содержание элементов в пробах Ahm 22-1, 22-2, 22-3, 22-4, 22-5, 22-6, 22-8

Кесте 1

Ahm 22-1, 22-2, 22-3, 22-4, 22-5, 22-6, 22-8 үлгілеріндегі элементтердің мазмұны

Table 1

The content of elements in samples Ahm 22-1, 22-2, 22-3, 22-4, 22-5, 22-6, 22-8

Элемент	Концентрация, %						
	Ahm-22-1	Ahm-22-2	Ahm-22-3	Ahm-22-4	Ahm-22-5	Ahm-22-6	Ahm-22-8
Li	0,01	0,2	0,025	0,05	0,007	0,005	0,007
Cu	0,003	0,005	0,003	0,003	0,002	0,007	0,005
Pb	0,003	0,002	0,0025	0,005	0,003	0,003	0,002
Zn	0,002	0,003	0,002	0,005	н.о.	0,003	0,003
Co	0,002	0,0005	0,0003	0,0002	0,0005	0,0005	0,0005
Ni	0,005	0,003	0,002	0,0005	0,001	0,002	0,002
V	0,003	0,002	0,002	0,010	0,001	0,002	0,001
Mo	0,0007	0,0003	0,0003	0,003	0,0003	0,0002	0,0002
Sn	0,015	0,03	0,015	0,015	0,02	0,007	0,01
As	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sb	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
P	0,2	0,1	0,1	≤1,0	0,1	0,2	0,2
Zr	0,01	0,007	0,01	0,01	0,015	0,02	0,007
Tl	0,0005	0,0005	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,001
Ba	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Be	0,015	0,001	0,025	0,002	0,01	0,03	0,025
Sr	0,03	0,01	0,01	0,03	<0,01	0,01	<0,01
Ag	0,00003	0,00007	0,00003	0,00003	0,00015	0,00005	0,00005
Au	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Y	0,001	0,001	0,001	0,0015	<0,001	0,001	0,001
Yb	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ce	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
La	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Si	>>1,0	>>1,0	>>1,0	>>1,0	>>1,0	>>1,0	>>1,0
Fe	>1,0	≥1,0	>1,0	≥1,0	≤1,0	≥1,0	≥1,0
Al	>>1,0	>>1,0	>>1,0	>>1,0	>>1,0	>>1,0	>>1,0
Na	>>1,0	>1,0	>>1,0	≥1,0	>1,0	>>1,0	>>1,0
Mg	0,2	0,05	0,05	0,5	0,2	0,05	0,05
K	>1,0	>1,0	>1,0	>1,0	<1,0	>1,0	>>1,0
Cr	0,01	0,01	0,01	0,002	0,01	0,01	0,01
Ge	0,0005	0,0007	0,0005	0,0002	0,0005	0,0005	0,0003
Bi	0,0003	0,0002	0,0002	<0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Ti	0,05	0,02	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05

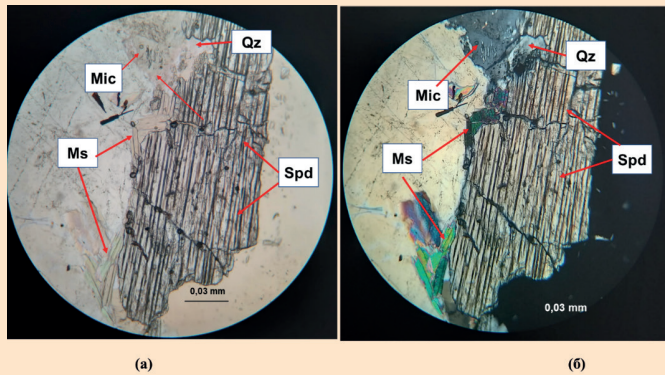
В шлифах минерал рельефный, бесцветный и спайность в одном и двух направлениях, угол между направлениями спайности 87°. Форма призматическая, в основном наблюдаются идиоморфные, реже ксеноморфные кристаллы. Угол погасания косой (рис. 6). При исследовании можно выделить две самостоятельные генерации минерала: крупно-среднезернистый сподумен I (рис. 6) и мелкозернистый ксеноморфный II сподумен. Первая генерация (I) сподумена встречается в плагнопегматитах с крупны-

ми кристаллами плагноклаза, топаза и мусковита. Вторая генерация сподумена ассоциируется с мелкозернистыми кристаллами кварца, граната, топаза и натриевыми полевыми шпатами.

**Калиевый полевой шпат (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)** является типичным породообразующим минералом исследуемых редкометалльных пегматитов. Он пространственно связан с кварцево-плагноклазовым, кварцево-сподумен-топазово-альбитовым и кварцево-альбито-гранато-топазо-

вым мелкозернистым агрегатом. Калиевый полевой шпат обычно пертитовый, серый или слегка красноватый, иногда образует длинные кристаллы размером до 5 см.

В шлифе кристаллы калиевого полевого шпата в основном образуют характерные таблитчатые и реже ксеноморфные формы. Последние встречаются в виде кварцево-мусковитового агрегата, а в сподуменосодержащих жилах пересекаются кристаллами сподумена и лейстами плагиоклаза. Спайность, совершенная в двух направлениях, рельеф слабо заметен и цвета интерференции низкие (рис. 6).



**Рис. 6. Кварц-мусковит-сподуменовый пегматит, месторождение Ахметкино (ВКО). Длиннопризматический кристалл сподумена (Spd), мусковит с ярким цветом интерференции (Ms), ксеноморфный кристалл микроклина (Mic), темно-серый мелкозернистый кристалл кварца (Qz), николи параллельные (а), николи скрещенные (б), увеличение 10<sup>х</sup>.**

**Сурет 6. Кварцты-мусковит-сподумен пегматиті, Ахметкино кен орны (ШҚО). Ұзын призматикалық сподумен кристалы (Spd), ашық интерференциялық түстері бар мусковит (Ms), ксеноморфты микроклинді кристал (Mic), қою сұр түсті ұсақ түйіршікті кварц кристалы (Qz), параллель николдар (а), қиылысатын никольдер (б), ұлғайту 10<sup>х</sup>.**

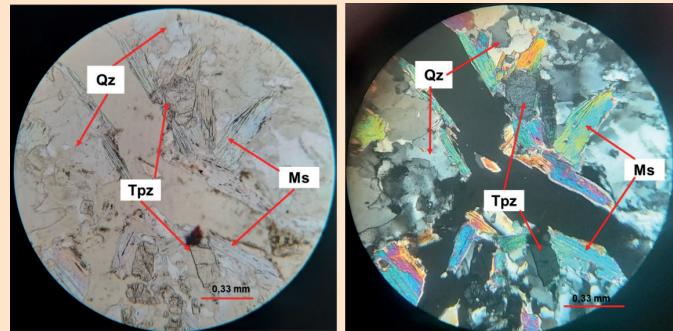
**Figure 6. Quartz-muscovite-spodumene pegmatite, Akhmetkino deposit (VKO). Long-prismatic spodumene crystal (Spd), muscovite with bright interference colors (Ms), xenomorphic microcline crystal (Mic), dark gray fine-grained quartz crystal (Qz), parallel nicols (a), crossed nicols (b), magnification 10<sup>x</sup>.**

**Альбит (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)** – это доминирующий минерал в сподуменовых пегматитах в месторождении со средним содержанием 37 масс.%, иногда он присутствует в виде клевеландита. Пластинки альбита от белого до серого цвета, иногда до 10 см в длину. Микроскопически альбит образует таблитчатую форму размером 0,05-0,25 мм, с полисинтетическим двоиникованием, и часто наблюдаются катаклизированные кристаллы. Цвета интерференции средние, местами альбит замещен вторичными минералами.

**Мусковит** в пегматитах исследуемого участка является повсеместно распространенным минералом и отмечается в составе кварцево-полевошпатовой и кварцево-альбитово-гранатовой разновидностей пегматитов, где обра-

зует кварцево-мусковитовый агрегат в виде гнездовых скоплений или полос. Выделяются две самостоятельные генерации мусковита: среднезернистый мусковит первой генерации (Мусковит I) (рис. 7) и мелкозернистый мусковит второй генерации (Мусковит II) пленочной структуры. Мусковит I представлен пластинчатыми кристаллами размером от 0.5 до 2 см. Мусковит II представлен мелкозернистыми чешуйчатыми агрегатами, покрывающими отдельные кристаллы полевых шпатов (натриевый и калиевые), кварца и сподумена, образуя пленочную структуру. Мелкочешуйчатые кристаллы мусковита позволяют условно их отнести к поздней генерации минерала.

**Циннвальдит.** Цвет минерала серебристо-серый, сиреневый, светло-бурый, реже темный. Минерал прозрачный, иногда непрозрачный, что зависит от содержания в нем железа. Циннвальдит кристаллизуется в моноклинной сингонии, имея тонко- или груболистоватые кристаллы и имеет весьма совершенную спайность по (001). Минерал образует в основном листоватые, веерообразные или боченковидные кристаллы.



**Рис. 7. Топаз-мусковит кварцевый пегматит; короткопризматические кристаллы топаза (Tpz), ксеноморфные кристаллы кварца (Qz), чешуйчатые кристаллы мусковита (Ms) с высокими цветами интерференции. Николи параллельные и скрещенные.**

**Сурет 7. Топаз-мусковит кварц пегматиті; қысқа призмалық топаз кристалдары (Tpz), ксеноморфты кварц кристалдары (Qz), жоғары интерференциялық түстері бар қабыршақты мусковит кристалдары (Ms).**

**Николи параллель және кесіп өтті.**

**Figure 7. Topaz-muscovite quartz pegmatite; short prismatic topaz crystals (Tpz), xenomorphic quartz crystals (Qz), scaly muscovite crystals (Ms) with high interference colors. Nicoli parallel and crossed.**

Для минералого-геохимического изучения руд месторождения по жилам была отобрана проба весом 20 кг. Образцы жил (руды) и даек месторождения Ахметкино характеризуются несложным вещественным составом и представлены средне- и крупнозернистыми незональными пегматитами. Результаты минералого-геохимического анализа показали следующий состав: полевые шпаты – 52,55%; кварц – 27,76%; сподумен – 17,92%; мусковит – 1,17%; колумбит-танталит – 0,009%; касситерит – 0,0013%; берилл – 0,0187%; апатит – 0,0021%; гранат – 0,56%; прочие минералы – 0,01% [4, 9].

**Заключение**

В результате проведенных петрографо-минералого-геохимических исследований получена дополнительная информация о вещественном составе редкометалльных пегматитов, пегматоидов и типоморфных минералов, а также геохимических элементов, которые являются индикаторами редкометалльного пегматитообразования.

Минералогическое разнообразие на редкометалльном месторождении **Ахметкино** связано со степенью интенсивности проявления метасоматических процессов в пегматитовых жилах. Редкометалльное оруденение связано с процессами альбитизации и калишпатизации. Типоморфными минералами вышеперечисленных процессов являются альбит, мусковит, лепидолит, турмалин, сподумен, поллуцит, флюорит, танталит-колумбит и др. Среди указанных минералов к наиболее информативным относятся сподумен, обогащенный литием (от 91,44 до 6399 г/т)

и другими редкими элементами (*Sn, Be, Bi, Ta, Rb, Cs, W*).

К геохимическим элементам-индикаторам редкометалльных пегматитов относятся *Li Rb, Cs, Be, Zr, Hf, Nb, Ta, Sn, Mo*, которые образуют собственные минералы (альбит, мусковит, лепидолит, сподумен, циркон, тантал, олово и др.).

По особенностям внутреннего строения, минерального и химического состава калиевых полевых шпатов изученных жил месторождение **Ахметкино** относится к типу классического сподуменового пегматита.

**Благодарность**

*Данная статья была подготовлена при поддержке проекта ИРН АР14870387 «Оценка литиевого потенциала Республики Казахстан, определение критериев формирования месторождений и постановки геолого-разведочных работ», финансируемого Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.*

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Hund K., La Porta D., Fabregas Th P., Laing T., Drexhage J. Отчет Всемирного Банка, 2020 г. // Минералы для борьбы с изменением климата: Минералоемкость перехода к чистой энергии. Климатически оптимизированный горнодобывающий комплекс. Публикации Всемирного банка, Вашингтон, округ Колумбия. – С. 112 (на английском языке)
2. Oitseva T.A., D'yachkov B.A., Kuzmina O.N., Bissatova A.Y., Ageyeva O.V. Li-содержащие пегматиты Калба-Нарымской металлогенической зоны (Восточный Казахстан): минерально-сырьевой потенциал и критерии разведки. // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, сер. геол.-техн. наук. – 2022. – Т. 1. – №451. – С. 83-90 (на английском языке)
3. Khromykh S.V., Oitseva T.A., Kotler P.D., D'yachkov B.A., Smirnov S.Z., Travin A.V., Vladimirov A.G., Sokolova E.N., Kuzmina O.N., Mizernaya M.A., Agaliyeva B.V. Редкометалльные пегматитовые месторождения Калбинского района, Восточный Казахстан: возраст, состав и петрогенетическая значимость. // Полезные ископаемые. – 2020. – №10(11). – С. 1-15 (на английском языке)
4. Дьячков Б.А. Гранитоиды Восточной Калбы и связанные с ними постмагматические образования. Геология, геохимия и минералогия месторождений редких элементов. // Труды Каз ИМС. – Алма-Ата. – 1966. – С. 69-79 (на русском языке)
5. Дьячков Б.А. Рудоносность магматических образований Калба-Нарымской зоны. // Известия АН КазССР. Сер. геол. – 1979. – №6. – С. 20 (на русском языке)
6. Дьячков Б. А. Литиеносные месторождения Восточного Казахстана. // Матер. Всерос. научно-практ. совещания. – Новосибирск. – 2018. – С. 42-47 (на русском языке)
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 металлов. – Алма-Ата: КазИМС. – 1978. – №5. – С. 51-72 (на русском языке)
8. Дьячков Б.А., Ойцева Т.А., Фролова О.В., Матайбаева И.Е., Мирошникова А.П. Геолого-структурные и минералого-геохимические критерии оценки редкометалльных месторождений (Восточный Казахстан). // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2017. – №1(75). – С. 10-20 (на русском языке)
9. 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. – С. 248 (на русском языке)
10. Хромых С. В., Изох А.Э. Синколлизийный базитовый магматизм Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. // Матер. третьей междунар. науч. конф. «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения». – Новосибирск, 2016. – С. 201-203 (на русском языке)
11. Соколова Е.Н., Смирнов С.З., Хромых С.В. Условия кристаллизации, состав и источники редкометалльных магм при формировании онгонитов Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана. // Петрология. – 2016. – Т. 24. – №2. – С. 168-193 (на русском языке)
12. Омирсериков М.Ш., Исаева Л.Д. Геолого-динамическая модель формирования редкометалльных месторождений Калба-Нарымской рудной зоны. // Геологическая наука независимого Казахстана: достижения и перспективы. – Алматы. – 2011. – С. 199-203 (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Hund K., La Porta D., Fabregas Th P., Laing T., Drexhage J. Дүниежүзілік банк есебі, 2020 ж. // Климаттық әрекетке арналған пайдалы қазбалар: Таза энергияға ауысудың минералдық қарқындылығы. Климатқа сай тау-кен өндірісі. Дүниежүзілік банк басылымдары, Вашингтон, ДС. – Б. 112. (ағылшын тілінде)
2. Oitseva T.A., D'yachkov B.A., Kuzmina O.N., Bissatova A.Y., Ageyeva O.V. Қалба-Нарым металлогендік аймағының (Шығыс Қазақстан) Li-құрамдас пегматиттері: пайдалы қазбалар әлеуеті және барлау критерийлері. // ҚР ҰҒА жаңалықтары геология және техника ғылымдарының сериясы. – 2022. – Т. 1. – №451. – Б. 83-90 (ағылшын тілінде)
3. Khromykh S.V., Oitseva T.A., Kotler P.D., B.A. D'yachkov, Smirnov S.Z., Travin A.V., Vladimirov A. G., Sokolova E.N., Kuzmina O.N., Mizernaya M.A., Agaliyeva B.B. Шығыс Қазақстан Қалба аймағының сирек металды пегматит кен орындары: Жасы, құрамы және петрогенетикалық салдары. // Пайдалы қазбалар. – 2020. – №10(11). – Б. 1-15 (ағылшын тілінде)
4. Дьячков Б.А. Шығыс Қалбаның гранитоидтары және олармен байланысты постмагматикалық түзілімдер. Сирек элементтер кен орындарының геологиясы, геохимиясы және минералогиясы. // Қаз МБЖ материалдары. – Алма-Ата. – 1966. – Б. 69-79 (орыс тілінде)
5. Дьячков Б.А. Қалба-Нарым аймағының магмалық түзілімдерінің кен құрамы. // АН Хабаршысы ҚазССР. Геологиялық серия. – 1979. – №6. – Б. 20 (орыс тілінде)
6. Дьячков Б.А. Шығыс Қазақстанның литийлі кен орындары. // Бүкілресейлік ғылыми-практикалық кеңес материалдары. – Новосибирск. – 2018. – Б. 42-47 (орыс тілінде)
7. Садовский Ю.А., Степаненко Н. И., Пушко Е.П., Михайлов А.Г., Зимин О.Г. Сирек металды гранитті пегматиттер түзілудің негізгі параметрлері мен сұйық режимі туралы. // Сирек металдар кен орындарының геологиясы, геохимиясы және минералогиясы. – Алматы: КазИМС. – 1978. – №5. – Б. 51-72 (орыс тілінде)
8. Дьячков Б.А., Ойцева Т.А., Фролова О.В., Матайбаева И.Е., Мирошникова А.П. Геологиялық-құрылымдық және минералогиялық-геохимиялық сирек металл кен орындарын бағалау критерийлері (Шығыс Қазақстан). // ШҚМТУ хабаршысы им. Д.Серікбаева. – Өскемен, 2017. – №1(75). – Б. 10-20 (орыс тілінде)
9. Лопатников В.В., Изох Э.П., Ермолов П.В., Пономарева А. П., Степанов А. С. Шығыс Қазақстанның Қалба-Нарым аймағының магматизмі және кенділігі. // М.: Наука. – 1982. – Б. 248 (орыс тілінде)
10. Хромых С.В., Изох А.Э. Шығыс Қазақстанның Қалба-Нарым аймағының синколлизиялық негізгі магматизмі. // Матер. үшінші инт. ғылыми конф. «Алтайлар мен Уралидтердің өзара байланысы: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика және металлогения». – Новосибирск, 2016. – Б. 201-203 (орыс тілінде)
11. Соколова Е.Н., Смирнов С.З., Хромых С.В. Шығыс Қазақстанның Қалба-Нарым аймағында онгониттер түзілу кезіндегі кристалдану жағдайлары, сирек-металл магмаларының құрамы және көздері. // Петрология. – 2016. – Т. 24. – №2. – Б. 168-193 (орыс тілінде)
12. Омирсериков М.Ш., Исаева Л.Д. Қалба-Нарым кен аймағының сирек металл кен орындарының қалыптасуының геологиялық-динамикалық моделі. // Тәуелсіз Қазақстанның геология ғылымы: жетістіктері мен болашағы. – Алматы. – 2011. – Б. 199-203 (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Hund K., La Porta D., Fabregas Th P., Laing T., Drexhage J. World Bank Report, 2020 g. // Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. Climate-smart mining facility. World Bank Publications, Washington, DC. – P.112 (in English)
2. Oitseva T.A., D'yachkov B.A., Kuzmina O.N., Bissatova A.Y., Ageyeva O.V. Li-bearing pegmatites of the Kalba-Narym metallogenic zone (East Kazakhstan): mineral potential and exploration criteria. // News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. – 2022. – Vol. 1. – №451. – P. 83-90 (in English)
3. Khromykh S.V., Oitseva T.A., Kotler P.D., B.A. D'yachkov, Smirnov S.Z., Travin A.V., Vladimirov A. G., Sokolova E.N., Kuzmina O.N., Mizernaya M.A., Agaliyeva B.B. Rare-metal pegmatite deposits of the Kalba region, Eastern Kazakhstan: Age, composition and petrogenetic implications. // Minerals. – 2020. – №10(11). – P. 1-15 (in English)
4. Dyachkov B.A. Granitoidy Vostochnoj Kalby i svjazannye s nimi postmagmaticheskie obrazovanija. Geologija, geohimija i mineralogija mestorozhdenij redkih jelementov [Granitoids of Eastern Kazakhstan and Associated Post-Magmatic Formations. Geology, Geochemistry, and Mineralogy of Rare Earth Element Deposits]. // Trudy Kaz IMS = Proceedings of the Kaz IMR. – Alma-Ata, 1966. – P. 69-79 (in Russian)
5. Dyachkov B.A. Rudonosnost' magmaticheskih obrazovanij Kalba-Narymskoj zony [Ore content of igneous formations of the Kalba-Narym zone]. // Izvestija AN KazSSR. Serija Geol. = Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. Series: Geology. – 1979. – №6. – P. 20 (in Russian)



6. Dyachkov B.A. *Litienosnye mestorozhdenija Vostochnogo Kazakhstana [Lithium-bearing deposits in East Kazakhstan]*. // Mater. Vseros. nauchno-prakt. Soveshhanija = Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. – Novosibirsk. – 2018. – P. 42-47 (in Russian)
7. Sadovsky Yu. A., Stepanenko N. I., Pushko E. P., Mikhailov A. G., Zimin O. G. *Ob osnovnyh parametroh i fljuidnom rezhime stanovlenija redkometall'nyh granitnyh pegmatitov [On the main parameters and fluid regime of formation of rare-metal granite pegmatites]*. // Geologija, geohimija i mineralogija mestorozhdenij redkih metallov = Geology, Geochemistry, and Mineralogy of Rare Metal Deposits. – Alma-Ata: KazIMS. – 1978. – №5. – P. 51-72 (in Russian)
8. Dyachkov B.A., Oytseva T.A., Frolova O.V., Mataibaeva I.E., Miroshnikova A.P. *Geologo-strukturnye i mineralogo-geohimicheskie kriterii ocenki redkometall'nyh mestorozhdenij (Vostochnyj Kazahstan) [Geological-structural and mineralogical-geochemical 145 criteria for assessing rare metal deposits (East Kazakhstan)]*. // Vestnik VKGTU im. D. Serikbaeva = Bulletin of D. Serikbayev EKSTU. – Ust'-Kamenogorsk – 2017. – №1(75). – P. 10-20 (in Russian)
9. Lopatnikov V.V., Izokh E.P., Ermolov P.V., Ponomareva A.P., Stepanov A.S. *Magmatizm i rudonosnost' Kalba-Narymskoj zony Vostochnogo Kazakhstana [Magmatism and Ore Potential of the Kalba-Narym Zone of East Kazakhstan]*. // M.: Nauka. = M.: Science. – 1982. – P. 248 (in Russian)
10. Khromykh S.V. and Izokh A.E. *Sinkollizionnyj bazitovyj magmatizm Kalba-Narymskoj zony Vostochnogo Kazakhstana [Syncollisional mafic magmatism in the Kalba-Narym zone of East Kazakhstan]*. // Mater. tret'ej mezhdun. nauch. konf. «Korreljacija altaid i uralid: magmatizm, metamorfizm, stratigrafija, geohronologija, geodinamika i metallogenija» = Materials of the Third International Scientific Conference 'Correlation of the Altai and Uralides: Magmatism, Metamorphism, Stratigraphy, Geochronology, Geodynamics, and Metallogeny. – Novosibirsk, 2016. – P. 201-203 (in Russian)
11. Sokolova E.N., Smirnov S.Z., Khromykh S.V. *Uslovija kristallizacii, sostav i istochniki redkometall'nyh magm pri formirovanii ongonitov Kalba-Narymskoj zony Vostochnogo Kazakhstana [Conditions of crystallization, composition and sources of rare-metal magmas during the formation of ongonites of the Kalba-Narym zone of East Kazakhstan]*. // Petrologija = Petrology. – 2016. – T. 24. – №2. – P. 168-193 (in Russian)
12. Omirserikov M.Sh., Isaeva L.D. *Geologo-dinamicheskaja model' formirovanija redkometal'nyh mestorozhdenij Kalba-Narymskoj rudnoj zony [Geological-dynamic model of the formation of rare-metal deposits of the Kalba-Narym ore zone]*. // Geologicheskaja nauka nezavisimogo Kazakhstana: dostizhenija i perspektivy = Geological Science of Independent Kazakhstan: Achievements and Prospects. – Almaty. – 2011. – P. 199-203 (in Russian)

#### Сведения об авторах:

**Акбаров Е.Е.**, докторант обучения по специальности 8D07205 – «Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых», Председатель Комитета геологии Министерства индустрии и инфраструктурного развития РК (г. Астана, Казахстан), [e.akbarov@miid.gov.kz](mailto:e.akbarov@miid.gov.kz); <https://orcid.org/0009-0003-8845-4647>

**Байсалова А.О.**, доктор PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [a.baisalova@satbayev.university.kz](mailto:a.baisalova@satbayev.university.kz); <https://orcid.org/0000-0002-4925-7371>

**Долгополова А.В.**, доктор PhD по экологической геохимии в Королевской Школе Горного Дела, Imperial College London и старший научный сотрудник Музея Истории Естествознания (г. Лондон, Великобритания), [a.dolgopolova@nhm.ac.uk](mailto:a.dolgopolova@nhm.ac.uk); <https://orcid.org/0000-0002-8567-4631>

**Зельтманн Р.**, доктор PhD, профессор, директор CERCAMS, Музей Истории Естествознания (г. Лондон, Великобритания), [r.seltmann@nhm.ac.uk](mailto:r.seltmann@nhm.ac.uk); <https://orcid.org/0000-0002-4590-6485>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Ақбаров Е.Е.**, Қазақстан Республикасының Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігінің Геология комитетінің төрағасы, 8D07205 – «Қатты пайдалы қазбалардың кенорындарының геологиясы және барлау» мамандығы бойынша докторанты (Астана қ., Қазақстан)

**Байсалова А.О.**, Сәтбаев университетінің PhD докторы, қауымдастық профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Долгополова А.В.**, Корольдік тау-кен мектебінде қоршаған ортаны қорғау геохимиясы бойынша PhD докторы, Лондон Империял Колледжі және Табиғи тарих мұражайының аға ғылыми қызметкері (Лондон қ., Ұлыбритания)

**Зельтманн Р.**, PhD доктор, профессор, CERCAMS директоры, Табиғат тарихы мұражайы (Лондон қ., Ұлыбритания)

#### Information about authors:

**Akbarov E.E.**, Chairman of the Committee of Geology of Ministry of Industry and Infrastructural Development of the Republic of Kazakhstan, doctoral student of the of study in the specialty 8D07205 – «Geology and exploration of deposits of solid minerals» (Astana, Kazakhstan)

**Baisalova A.**, doctor PhD, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Dolgopolova A.**, PhD in Environmental Geochemistry at the Royal School of Mining, Imperial College London and Senior Researcher at the Museum of Natural History (London, Great Britain)

**Zeltmann R.**, doctor PhD, professor, director CERCAMS, Museum of Natural History (London, Great Britain)