

Внутреннее строение и закономерности распределения минеральных типов редкометалльных пегматитов в долине Дарай Печ (провинция Кунар, Афганистан)

А. Н. Евдокимов*, А. Юсуфзай***, А. М. Мусазай**

* Санкт-Петербургский горный университет,

г. Санкт-Петербург

** Кабульский политехнический университет,

г. Кабул (Афганистан)

evdokimov_an@spmi.ru

ata.yosufzai@gmail.com

Аннотация

Гранитные пегматиты Афганистана известны месторождениями редких металлов: Li, Be, Cs, Ta, Nb, Rb, Sn и др. Руды в долине Дарай Печ провинции Кунар содержат кристаллы берилла, сподумена, поллуцита, танталита и представляют интерес для промышленности. В статье рассматриваются петрографические особенности пегматитовых тел, их внутреннего строения, морфологических параметров рудных тел. Особое внимание уделено изменениям минералогического состава в пегматитовых телах в зависимости от вертикальной удаленности от материнской интрузивной породы.

Изучено свыше 20 пегматитовых тел. По мере удаления от гранитного интрузива выделяется четыре типа пегматитовых жил: 1) существенно плагиоклаз-микроклиновые, биотит-мусковитовые пегматиты с редким бериллом, шерлом и гранатом; 2) альбитизированные микроклиновые и микроклин-альбитовые пегматиты с крупнокристаллическим бериллом, танталит-колумбитом, шерлом, кунцитом, полихромным турмалином; 3) существенно альбитовые пегматиты с редким сподуменом, мелкокрапленным бериллом и колумбит-танталитом; 4) альбит-сподуменовые пегматиты с колумбит-танталитом, касситеритом, клевеландитом, лепидолитом, кунцитом и полихромным турмалином. В этом же направлении убывает содержание биотита, но возрастает количество мусковита и клевеландита, что положительно коррелируется с содержаниями редкометалльной минерализации, пьезооптического сырья и драгоценных камней.

Отдельные пегматитовые жилы имеют асимметричную зональность: в лежачем боку относительно мелко- и среднезернистые породы, а в висячем – крупнозернистые.

Ключевые слова:

петрография, редкометалльные пегматиты, вертикальная зональность, внутреннее строение, гранит, Дарай Печ, Афганистан

Internal structure and patterns of distribution of mineral types of rare metal pegmatites in the Darai Pech valley (Kunar province, Afghanistan)

A. N. Evdokimov*, A. Yosufzai***, A. M. Mosazai**

* Saint-Petersburg Mining University,

Saint-Petersburg

** Kabul Polytechnic University,

Kabul, Afghanistan

evdokimov_an@spmi.ru,

ata.yosufzai@gmail.com

Abstract

The granite pegmatites of Afghanistan are known for deposits of rare metals: Li, Be, Cs, Ta, Nb, Rb, Sn, etc. Ores in the Darai Pech valley of the Kunar province contain crystals of beryl, spodumene, pollucite, and tantalite and are of interest to industry. The article discusses the petrographic features of pegmatite bodies, their internal structure, and the morphological parameters of ore bodies. Particular attention is paid to changes in the mineralogical composition of pegmatite bodies depending on the vertical distance from the parent intrusive rock.

Over 20 pegmatite bodies have been studied. Four types of pegmatite veins are identified with distance from the granite intrusion: 1) essentially plagioclase-microcline, biotite-muscovite pegmatites with rare beryl, schorl, and garnet; 2) albitized microcline and microcline-albite pegmatites with coarse-crystalline beryl, tantalite-columbite, schorl, kunzite, and polychrome tourmaline; 3) albite pegmatites with rare spodumene, finely disseminated beryl, and columbite-tantalite; 4) albite-spodumene pegmatites with columbite-tantalite, cassiterite, cleveandite, lepidolite, kunzite, and polychrome tourmaline. Simultaneously, content of biotite decreases and those of muscovite and cleveandite increase, which positively correlates with contents of rare metal mineralization, piezo-optical raw materials, and precious stones.

Individual pegmatite veins have asymmetrical zoning: the footwall has relatively fine- and medium-grained rocks and the hanging wall – coarse-grained rocks.

Keywords:

petrography, rare metal pegmatites, vertical zoning, internal structure, granite, Darai Pech, Afghanistan

Введение

Пегматиты – это полнокристаллические крупно- и гигантозернистые магматические породы, которые образуются в процессе дифференциации остаточного магматического расплава [1]. Они представляют собой класс пород, характеризующийся многообразием минерального и химического составов [2]. Проблема образования пегматитов остается нерешенной, в настоящее время в геологической среде существуют несколько мнений и генетических моделей [3].

Одними из первых описаний внутреннего строения, минералогии и геохимии альбит-сподуменовых пегматитов являются исследования К. А. Власова (1961), Н. А. Солодова (1959, 1961, 1962), А. И. Гинзбурга и др. (1979). Эволюция отдельных пегматитов сегодня объясняется [4–6] моделью кристаллизации из водонасыщенных однородных расплавов.

Существует несколько гипотез формирования внутренней зональности гранитных пегматитов. Широко известность получила модель [7], по которой пегматиты обязаны текстурными характеристиками отделению водяного пара от силикатного расплава, что приводило к образованию богатых калием пегматитовых тел на верхнем гипсометрическом уровне, а также богатых натрием аплитовых участков в нижних зонах отдельных пегматитов.

В провинции Кунар редкометалльные пегматиты расположены в долине Дарай Печ, вдоль правых притоков – Дигал и Чапа Дара. Они имеют промышленно-значимые концентрации лития, тантала, цезия, бериллия, олова, драгоценных камней и пьезооптического сырья. Редкометалльная минерализация здесь представлена сподуменом, бериллом и тонкопластинчатым танталит-колумбитом.

Координаты пегматитового поля: $34^{\circ}54'30''$ – $34^{\circ}58'30''$ и $70^{\circ}41'30''$ – $70^{\circ}45'20''$, площадь составляет около 35–40 км² (рис. 1). Из г. Асад Абад провинции Кунар до Дарай Печ, находящегося на западной окраине поля, по долине р. Дарай Печ ведет грунтовая автодорога протяженностью 41 км. Абсолютные высоты на площади поля Дарай Печ колеблются в пределах 1100–4000 м, а на участке месторождений Гульсалак и Дигал – от 1700 до 2400 м над уровнем моря в центральной части долины Дарай Печ, вдоль восточного контакта Алингарского гранитного массива, в тектонической зоне Нуристан [11]. Впервые бериллоносные пегматиты в долине Дарай Печ (у сел Гульсалак и Чамбалак) обнаружил Гулам Али Хан (1950). В 1958 г. район Дарай Печ посетили Сайд Хашим Мирзад, Ахмадулла Хан и Н. Галахов (С. Мирзад, 1958). Месторождение Гульсалак изучали советские специалисты – В. М. Народный и С. Л. Шварков, которые оконтурили площадь поля и открыли крупные тела сподуменовых пегматитов (Народный и др., 1965). В 1971 г. жилы западного фланга поля исследовал на предмет их оловоносности О. Н. Кабаков. В 1972 г. район посетили Л. Н. Россковский и Б. К. Любимов. Последним здесь были открыты скопления поллуцита, установлено широкое развитие лепидолита и танталовой минерализации [12].

Генезис и эволюцию пегматитов в Афганистане предположили Н. А. Солодов (1962) и Л. Н. Россковский и др. [8, 13]. А. М. Мусазай в 1988 г. установил вертикальную зональность в размещении пегматитовых тел. С началом гражданской войны в Афганистане систематические исследования в этой области были прекращены. В настоящее время большая часть работ выполнена на минералах из пегматитов Афганистана, имеющих ювелирное качество музейных камней [14, 15]. В данной статье представлены результаты проведенных впервые за несколько лет работ по изучению внутреннего строения и зональности редкометалльных пегматитов на новых участках.

Материалы и методы

Изучение опубликованных материалов позволило создать информационную базу данных по элементам залегания и морфологии пегматитовых жил. Геолого-структурная позиция редкометалльных пегматитов олигоценых гранитов комплекса Лагман определяется эпохами тектонической и магматической активизаций в регионе. Опубликованные данные и наши полевые наблюдения свидетельствуют о многоактном процессе внедрения гранитоидных интрузивных комплексов и связанных с ними пегматитовых образований [8, 16, 17].

Изучение особенностей залегания пегматитов и сбор каменного материала были проведены А. Юсуфзай в ходе полевых работ в провинции Кунар в Афганистане летом 2023 г. В результате задокументировано залегание свыше 20 пегматитовых тел, расположенных в области восточного эндоконтакта крупного массива биотит-амфиболовых диоритов. Эти жилы образуют пегматитовое поле, где жильные тела падают примерно в одном запад-юго-западном направлении под углами от 10 до 30° (рис. 2), их протяженность – от нескольких сотен метров до 2.5 км, а мощность варьирует от 1 до 25 м.

Образцы включают породы и кристаллы из гранитов, пегматитов и вмещающих пород поля Дарай Печ провинции Кунар. Определение породообразующих минералов было выполнено с использованием поляризационного и рудного микроскопов «Leica DM 2500 M». Диагностика акцессорных минералов – методом рамановской спектроскопии с применением Renishaw InVia Raman spectrometer в Санкт-Петербургском горном университете [18] (рис. 3).

Геологическое строение

В районе широко развиты метаморфические породы различного состава, интродуцированные габброидами и гранитоидами. Метаморфические породы существенно различаются по вещественному составу, степени метаморфизма и особенностям складчатых структур.

Выделяются две серии пород: серия Нуристан нижнепротерозойского возраста и серия Кашмунд триасового возраста. Метаморфиты серии Нуристан распространены в северо-восточной части района пегматитового поля [19]. Они представляют тектонический клин среди триасовых отложений серии Кашмунд и порваны интрузиями относительно молодых габброидов и гранитов [20]. Породы серии Нуристан смяты в синклимальную складку субширотного

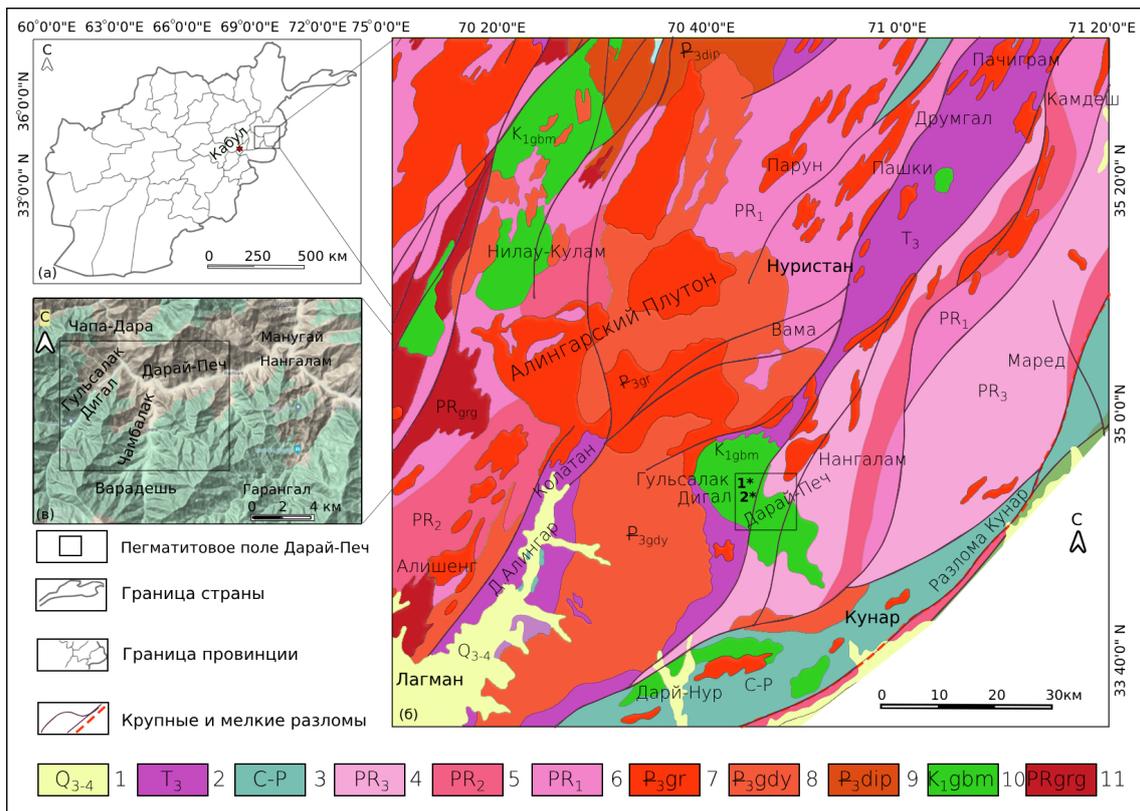


Рисунок 1. Геологическая карта пегматитового пояса восточного Афганистана: а – общее положение района исследования; б – геологическая карта района исследования (составлено авторами по: [8–10]); в – спутниковый снимок пегматитового поля Дарай Печ и положение месторождений Дигал и Гульсалак.

Условные обозначения: 1 – аллювий, гравий, пески и глины; 2 – филлитовидные сланцы, песчаники и алевролиты; 3 – песчаники, андезиты, базальты; 4 – гнейсы, сланцы, амфиболиты, кварциты; 5 – мраморы, гнейсы, амфиболиты, кварциты; 6 – гнейсы, амфиболиты, кварциты; интрузивные комплексы (7–11): олигоценый комплекс Лагман (7–9): 7 – граниты III-фазы; 8 – порфировидные граниты II-фазы; 9 – диориты и плагиограниты I-фазы; 10 – комплекс Нилау: габбро-монзониты, диориты и гранодиориты; 11 – комплекс Панджшир: гранито-гнейсы.

Figure 1. Geological map of the pegmatite belt of Eastern Afghanistan: а – general position of the study area in Afghanistan; б – geological map of the study area, compiled by the authors according to: [8–10]; в – satellite image of the Darai Pech pegmatite field and the position of the Dighal and Gulsalak deposits. Symbols: 1 – alluvium, gravel, sands, and clays; 2 – phyllite shales, sandstones, and siltstones; 3 – sandstones, andesites, basalts; 4 – gneisses, schists, amphibolites, quartzites; 5 – marbles, gneisses, amphibolites, quartzites; 6 – gneisses, amphibolites, quartzites; intrusive complexes (7 – 11): Laghman oligocene complex (7–9): 7 – phase III granites; 8 – phase II porphyritic granites; 9 – phase I diorites and plagiogranites; 10 – Nilau complex: gabbro-monzonites, diorites and granodiorites; 11 – Panjshir complex: granite-gneisses.

простираются с падением шарнира складки в восточном направлении. Основание серии Нуристан характеризуется чрезвычайно монотонным строением: биотитовые гнейсы, плагиогнейсы и амфиболиты, прослои кварцитов и кварцитовидных песчаников – свита Неджраб, выше и согласно лежат, с постепенным переходом, кварциты с прослоями пачек диатомовых и инъекционных гнейсов. В средней части разреза залегают мраморы свиты Чобак. Еще выше, так же согласно залегают породы свиты Камдеш: это монотонная толща биотитовых гнейсов и плагиогнейсов, венчающаяся пачкой сланцев и согласно перекрываемая образованиями свиты Вайгал, представленной мраморами, сланцами и кварцитами. Завершает разрез серии Нуристан свита Камал, состоящая из толщи биотитовых, двуслюдяных, гранат-ставролит-биотитовых сланцев с прослоями карбонатных сланцев, известковистых и слюдяных кварцитов, мраморов. Мощность серии Нуристан – от 8500 до 10 500 м, мощность отложений данной серии в районе Дарай Печ составляет 5500–6000 м [12].

Узкие тектонические клинья среди докембрийских метаморфических толщ выполнены отложениями серии

Кашмунд верхнетриасового возраста. Серия Кашмунд сложена в основном кварцево-сланцевыми филлитовидными сланцами с графитом. Мощность прослоев от 300 до 3000 м, редко – до первых десятков метров [14]. Отложения серии Кашмунд имеют сравнительно выдержанное северо-восточное простирание и северо-западное падение под углами 15–30°, реже – 5–10°. В зоне экзоконтактов массивов интрузивных пород сланцы имеют изменчивые элементы залегания, смяты в сложные складки, часто гофрированы. Видимая мощность этой серии составляет 1000–1500 м [11].

Интрузивные породы занимают большую часть площади района (рис. 1), среди них выделяются три комплекса: 1) габбро-диориты Нилау; 2) порфировидные биотитовые граниты II-фазы гранитоидного комплекса Лагман; 3) двуслюдяные граниты III-фазы комплекса Лагман [13].

Разрывные структуры на площади района имеют преобладающее северо-восточное простирание. Главными разрывными структурами здесь являются разломы, разграничивающие породы двух структурных ярусов. Они представляют собой зоны брекчированных, катаклазированных, милонитизированных, часто разгнейсованных

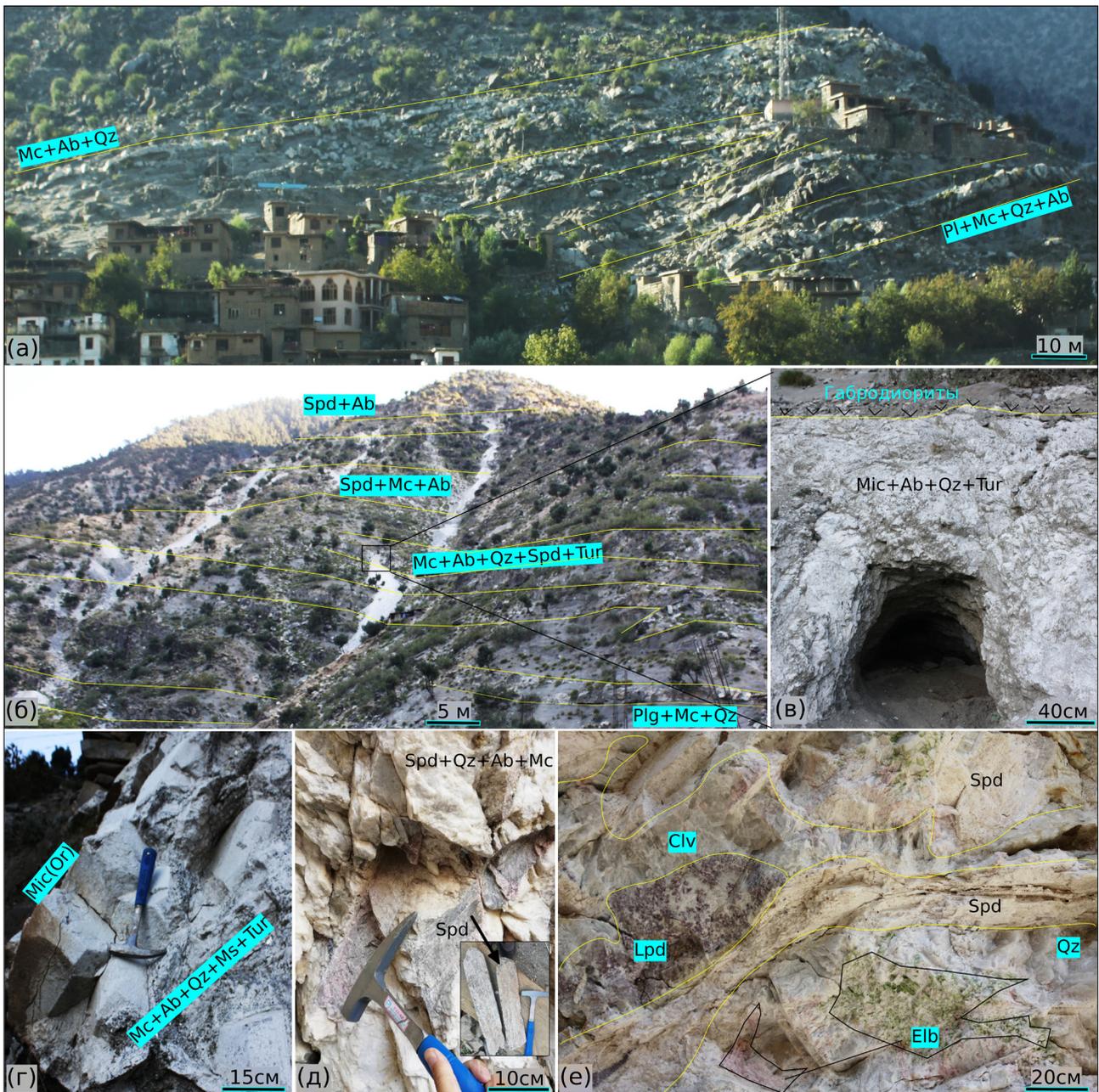


Рисунок 2. Общий вид размещения пегматитовых жил месторождений Гульсальк (а) и Дигал (б, в) во вмещающих габбро-диоритах комплекса Нилау. Внутренние структуры пегматитовых жил: зона блокового микроклина (г), кварцевое ядро и зона сподумен-лепидолит-клевеландита (е). Обозначения минералов: Ab – альбит, Clv – клеветандит, Elb – эльбаит, Pl – плагиоклаз, Ms – мусковит, Qz – кварц, Spd – сподумен, Tur – турмалин, Lpd – лепидолит. Figure 2. General view of pegmatite veins from the Gulsalk (a), Digal (б, в) deposits in the gabbrodiorite host rocks of the Nilau complex. Internal structures of pegmatite veins: very coarse-grained microcline zone (г), quartz core and spodumene-lepidolite-clevelandite zone (е). Abbreviations of minerals: Ab – albite, Clv – clevelandite, Elb – elbaite; Pl – plagioclase, Ms – muscovite, Qz – quartz, Spd – spodumene, Tur – tourmaline, Lpd – lepidolite.

и тонкофривированных пород. Все разрывы имеют крутое или вертикальное падение плоскостей сбрасывателя.

Габбро-диоритовый комплекс Нилау раннемелового возраста слагает лополитообразные, линзовидные и штокообразные тела пестрого состава [21]. Породы данного комплекса представлены диоритами, габбро, габбро-норитами, габбро-диоритами, кварцевыми диоритами и плагиогранитами. Интрузивные породы прорывают сланцы и мраморы с приконтактовыми зонами дробления, брекчирования, милонитизацией, разгнейсованностью, обохренностью и широким развитием мелких кварцевых прожилков. Минеральный состав пород: плагиоклаз (лаб-

радор) – 50–60 %, роговая обманка – 20–30, моноклиновый пироксен – 10–20, ромбический пироксен – 4–6, биотит – 8–10 %. Акцессорные минералы представлены сфеном, цирконом, апатитом и титаномagnetитом.

Порфириовидные граниты II-фазы комплекса Лагман слагают западную часть района, где выходит на поверхность восточная часть гранитоидного комплекса Лагман. Данный комплекс представлен грубозернистыми порфириовидными биотитовыми гранитами. Структура пород порфириовидная, а в основной массе – гранитная. Текстура – массивная, со слабо выраженной гнейсоватостью. Порфириовидные выделения представлены решетчатым

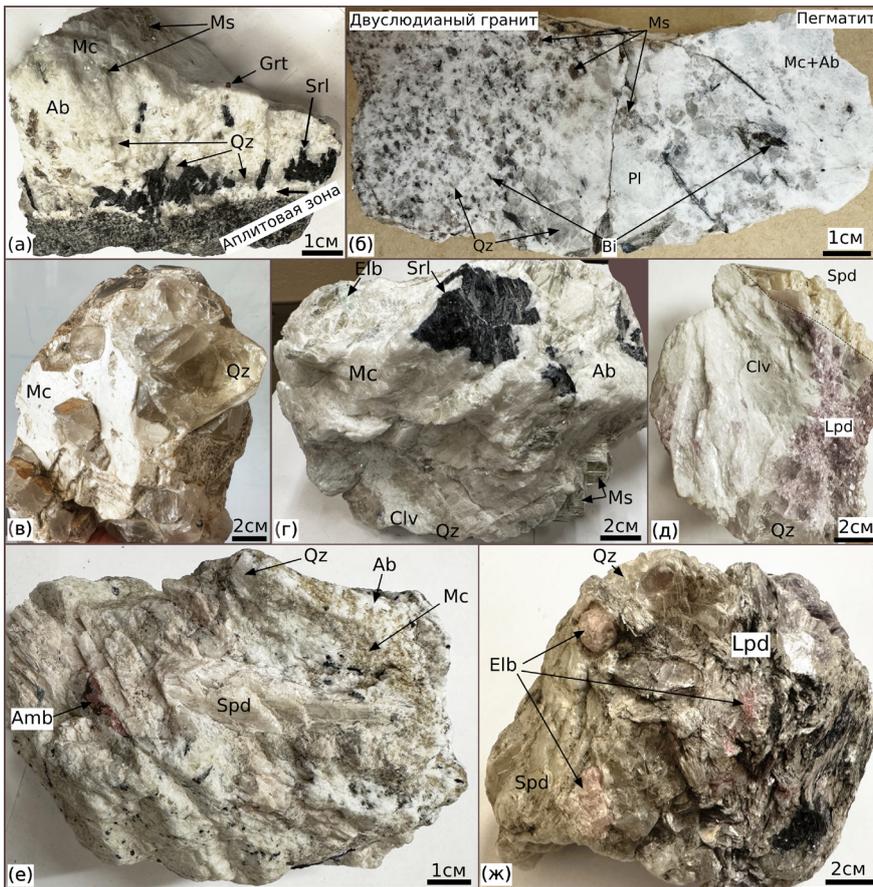


Рисунок 3. Крупнокристаллические структурно-текстуальные особенности пегматитов поля Дарай Печ (фото А. Юсуфзай): резкий контакт между лежащим флангом плагиоклаз-микроклин-шерл-биотит-мусковитовой жилы и биотит-амфиболовым диоритом комплекса Нилау (а); зона роста пегматитов из материнских пород – резкий контакт олигоклаз-микроклин-альбит-мусковитовой жилы и двуслюдяных гранитов III-фазы комплекса Лагман (б); горный хрусталь с блоковым микроклином из апографической кварц-альбит-микроклиновой зоны (в); плагиоклаз-микроклин-биотит-мусковитовый пегматит с шерлом и редким бериллом (г); пластинчатый клеветандит с сахаровидным лепидолитом из сподумен-клеветандит-лепидолитовой зоны (д); сахаровидный альбит в кварц-сподумен-альбитовой зоне с амблигонитом (е); крупнозернистый лепидолит с ювелирным турмалином из сподумен-клеветандит-лепидолитовой зоны (ж). Обозначения минералов: Ab – альбит, Amb – амблигонит, Clv – клеветандит, Elb – эльбаит, Grt – гранат, Pl – плагиоклаз, Ms – мусковит, Qz – кварц, Spd – сподумен, Srl – шерл, Tur – турмалин, Lpd – лепидолит.

Figure 3. Coarse-crystalline structural-textural features of pegmatites from the Darai Pech field (photo by A. Yosufzai): sharp contact between the recumbent flank of the plagioclase-microcline-schorl-biotite-muscovite vein and the biotite-amphibole-diorite of the Nilau complex (a); growth zone of pegmatites from source rocks – sharp contact of oligoclase-microcline-albite-muscovite vein and phase III two-mica granites of the Lagman complex (b); rock crystal with blocky microcline from apographic quartz-albite-microcline zone (c); plagioclase-microcline-biotite-muscovite pegmatite with shorl and rare beryl (d); lamellar clevelandite with sugary grained lepidolite from the spodumene clevelandite-lepidolite zone (e); sugary grained albite in the quartz-spodumene-albite zone with amblygonite (e); coarse-grained lepidolite with gem tourmaline from the spodumene clevelandite-lepidolite zone (ж). Abbreviations of minerals: Ab – albite, Amb – amblygonite; Clv – clevelandite, Elb – elbaite; Grt – garnet; Pl – plagioclase, Ms – muscovite, Qz – quartz, Spd – spodumene, Srl – schorl; Tur – tourmaline, Lpd – lepidolite.

микроклином, размер порфиробласт колеблется от 0.5 до 10 см в длину и до 2–3 см в поперечнике. Основная масса породы сложена плагиоклазом на 25–30 %, калиевым полевым шпатом на 30–35, кварцем на 25–30, биотитом, иногда мусковитизированным, на 5–8 и роговой обманкой на 5 %. Акцессорные минералы представлены ортитом, сфеном, цирконом, апатитом, диопсидом, касситеритом, титаномагнетитом.

Среднезернистые и пегматоидные граниты III-фазы комплекса Лагман состоят из мелко- и среднезернистых двуслюдяных гранитов и грубозернистых, пегматоидных

разностей. Между этими гранитами наблюдаются резкие интрузивные контакты и постепенные переходы. Мелко- и среднезернистые раскрыстализовались раньше, они сложены кварцем на 38–40 %, калиевым полевым шпатом на 30–33, плагиоклазом-олигоклазом и альбитом на 25–27, биотитом и мусковитом на 7–11 %. Акцессорные минералы: апатит, циркон, сфен и рудный. Мусковит здесь часто развивается по биотиту.

Минеральный состав грубозернистых, пегматоидных гранитов: плагиоклаз (олигоклаз) – 44–48 %, калиевый полевой шпат – 22–26, кварц – 26–30, шерл – до 5, биотит и мусковит – 3–5 %, встречаются также гранат, рунный минерал, иногда берилл.

Редкометалльные пегматиты имеют генетическое родство с гранитами III-фазы комплекса Лагман [22].

Результаты и их обсуждение

Пегматитовое поле Дарай Печ приурочено к области несогласного сочленения двух структурных ярусов: нижнего, представленного сильно метаморфизованными протерозойскими породами серии Нуристан, и верхнего, сложенного слабо метаморфизованными триасовыми сланцами серии Кашмунд [12]. Протерозойские комплексы нижнего структурного яруса распространены в северо-восточной части района, смяты в синклимальную складку субширотного простирания с падением шарнира складки в восточном направлении. Простирание пород верхнего структурного яруса северо-восточное, они обнаружены в южной и центральной частях района, но имеют ортогональное простирание в северо-западном направлении в северо-западной части площади [11].

Все пегматитовые жилы поля Дарай Печ можно разделить на четыре группы:

1. Плагиоклаз-микроклиновые, биотит-мусковитовые пегматиты с редкими кристаллами берилла.
2. Микроклин-альбитовые пегматиты с рудоразборным бериллом [23].
3. Существенно альбитовые пегматиты с редким сподуменом, колумбит-танталитом и касситеритом [17].

4. Альбит-сподуменовые пегматиты с комплексной колумбит-берилло-касситеритовой минерализацией [24].

Плаггиоклаз-микроклин-биотит-мусковитовые пегматиты распространены в восточной части поля, образуя группу жил субмеридионального простирания. Пегматиты локализуются в метаморфических породах и в зоне эндоконтакта с массивом габброидов. Жилы пегматитов данного типа занимают наиболее низкое гипсометрическое положение по сравнению с пегматитами других типов. Они имеют преимущественно плитообразную форму с редкими апофизами. Отдельные тела залегают в метаморфических породах и имеют форму мелких штоков, встречаются тела неправильной, линзовидной, редко четковидной форм и формы ветвистых жил. Мощность жил варьирует от первых сантиметров до 12–15 м, длина – от первых метров до 800–1000 м. Преобладают жилы мощностью 2–3 м. Простирание жил варьирует от северо-западного до субмеридионального. Падение жил, обнаженных в левом борту долины р. Кала, преимущественно восточное крутое – 75–85°; жилы на водоразделе рек Кала и Чамбалак имеют юго-западное падение под углами 15–20°, редко – до 35°.

Пегматиты данного типа обычно не содержат редкометалльных минералов. Лишь в отдельных случаях в них встречается берилл синего или зеленовато-синего цвета призматической или пластинчатой формы. Размеры кристаллов – от 0.5x2 см до 5x10 см. В той же жиле обнаружены единичные мелкие кристаллы колумбита-танталита и кристаллы ортита размером до 3x8 см.

Микроклин-альбитовые пегматиты имеют наибольшее распространение по сравнению с пегматитами других типов в пределах поля. Они встречены на площади всего поля, за исключением района с наиболее высокими абсолютными отметками на водоразделе рек Дигал и Чамбалак. Жилы пегматитов данного типа имеют плитообразную форму с мелкими апофизами и небольшими раздувами в отдельных участках. Размеры жил варьируют в широких пределах: мощность – от 1–2 до 14–16 м, длина – от 150 до 1400 м, преобладают жилы мощностью 1.5–2 м и длиной 400–600 м. Альбитизированные микроклиновые пегматиты обнажаются в левом борту р. Дигал и в приустьевой ее части, имеют субмеридиональное простирание и западное (редко юго-западное) падение под углами 15–25°, редко – до 30°. Пегматиты в междуречье Дигал – Чамбалак имеют северо-западное простирание и юго-западное падение под углами 20–30°. В южной части поля жилы этого типа имеют северо-восточное простирание и крутое (50–80°) юго-восточное падение.

Минеральный состав микроклин-альбитовых жил сравнительно прост. Они в основном сложены кварцем – 30 %, альбитом – 35 и микроклином – 30 %. Постоянной примесью является турмалин – около 5 %. Встречаются гранат, апатит, мусковит, фосфаты, развивающиеся по трифилину – минералу железа, лития и марганца, и по литиофилиту. Редкометалльные минералы в основном представлены бериллом, изредка – танталит-колумбитом и касситеритом.

Внутреннее строение микроклин-альбитовых пегматитов зональное или частично-зональное. Наибольшее распространение в пегматитах имеют: 1) кварц-альбитовый разномасштабный материал; 2) кварц-микроклиновая зона; 3) участки блокового микроклина; 4) зона блокового кварца; 5) зона контакта гранита и пегматита. В пятой зоне, в приальбантовых частях жил, встречаются участки микроклин-плаггиоклазового состава и биотит-мусковитовый гранит [10].

Альбитовые пегматиты находятся в правом борту долины р. Дигал. Они гипсометрически расположены выше плаггиоклаз-микроклиновых и микроклин-альбитовых пегматитов. Форма тел плитообразная с апофизами, некоторые жилы на флангах разветвляются на мелкие прожилки. Мощность жил – от 1 до 14 м, длина – от 180 до 1400 м, преобладают мощности в 2–3 м и протяженностью 480–580 м. Простирание жил северо-западное, падение юго-западное под углами 15–20°, отдельные жилы имеют углы падения до 20–30°.

Альбит-сподуменовые пегматиты образуют самые крупные и продуктивные в отношении редких металлов жилы. Длина рудных тел – от 450 до 3000 м, мощность – от нескольких метров до 15–25 м. Одна из изученных нами жил вскрыта эрозией на 500 м. Она сложена альбитом – 37 %, кварцем – 34, сподуменом – 12 и микроклином – 15 %, в ней присутствуют мусковит и турмалин – по 1 %; встречаются гранат, апатит, трифилин-литофилит и продукты его изменения, берилл, танталит-колумбит, касситерит и другие минералы.

Жилы данного типа пегматитов в пределах поля занимают наиболее высокое гипсометрическое положение по сравнению с пегматитами других типов. Все они распространены между долинами Дигал и Чамбалак, на водоразделе рек Сулейманша и Саме Тангай и на правом борту р. Чапа Дара напротив кишлака Земьяки. Простирание жил в пределах месторождения Дарай Печ субмеридиональное, сменяющееся у северной его окраины север-северо-западным и юго-западным; падение жил западное и юго-западное под углами 20–33°. Простирание некоторых жил на южной окраине поля северо-восточное, падение юго-восточное под углами 10–18°.

Редкометалльная минерализация представлена сподуменом, мелкокрапленными разностями берилла и тонкопластинчатого колумбит-танталита. Здесь встречаются уникальные по размерам, хорошо сформированные кристаллы касситерита с алмазным блеском граней [25]. Также обнаружен мариалит $\text{Na}_4[\text{AlSi}_3\text{O}_8]_3\text{Cl}$ – крайний член изоморфного ряда скаполита, который встречается вместе с турмалином, кунцитом и воробьевитом [26].

В связи с тем, что жилы редкометалльных пегматитов распространены в основном на высоком гипсометрическом уровне, то большое влияние на пространственное положение пегматитовых полей оказывает уровень эрозионного среза гранитных массивов. В частности, Алингарский гранитный плутон вскрыт современным эрозионным врезом на различном уровне. Здесь, в центральной его части, где обнажается сплошное поле гранитов II и III фаз внедрения, жилы редкометалльных пегматитов либо полностью от-

сутствуют, либо встречаются только среди останцев или глубоких прогибов вмещающих пород. Основное количество рудоносных жил располагается в области экзоконтакта интрузива, где обнажены лишь небольшие, размером от 0.5x2.0 до 3x10 км, массивы гранитов-III интрузивной фазы, которые можно рассматривать как сателлиты или крупные апофизы основного плутона. Наиболее крупные поля редкометалльных пегматитов пространственно и генетически связаны именно с такими мелкими массивами гранитов с очень низким эрозионным срезом [27].

Внутреннее строение пегматитовых тел плагиоклаз-микроклинового типа простое (рис. 4). Чаще всего жилы незональные и сложены микроклин-плагиоклазовым и биотит-мусковитовым срастаниями. В зональных фрагментах жил небольшие интервалы сложены кварц-микроклиновым письменным гранитом, кварц-мусковитовым агрегатом, блоковым кварцем и сахаровидным альбитом.

Внутреннее строение микроклин-альбитовых жил характеризуется отчетливой зональностью. Она образована следующими минералогическими зонами (рис. 4):

1. Зона гранит-пегматита в приальбантовых частях жил, где встречаются микроклин-плагиоклазовый и биотит-мусковитовый агрегаты.
2. Средне- или крупнозернистая кварц-альбитовая зона.
3. Зона блокового микроклина.
4. Апографическая кварц-альбит-микроклиновая зона.
5. Разнозернистый альбитовый комплекс.
6. Зона блокового кварца в ядре жилы.

Первые две зоны всегда располагаются в альбандах пологозалегающих жил. Причем зона гранит-пегматита находится только в нижней половине жилы, а кварц-альбитовая зона – только в верхней ее части. Между этими

двумя крайними зонами и кварцевым ядром располагаются остальные три зоны. Если кварцевое ядро отсутствует, то промежуточные зоны слагают центр жилы. При этом в их взаимном расположении не наблюдается строгой закономерности; зачастую одна или две из них вообще отсутствуют.

Берилл встречается во всех зонах, однако наибольшее развитие он имеет в краевой кварц-альбитовой зоне, в которой присутствует так называемый «фаршированный» берилл. Он легко поддается ручной рудоразборке благодаря сравнительно крупным размерам. Длина кристаллов – 7–12 см, хорошая огранка, яркий зеленовато-голубой цвет. Гнезда белого сподумена, лепидолита, амблигонита, полихромного турмалина распространены в жилах в долине ручья Аврагал и в правом борту долины Дигал [24, 28].

Интересно отметить парагенезис берилла и колумбит-танталита, почти всегда встречающихся вместе. Кварц поздней генерации наиболее обычен в крупных жилах. В зоне блокового микроклина встречаются редкие кристаллы колумбит-танталита, касситерита и редкие крупные кристаллы берилла, до 30 см в поперечнике, распространенные в долине р. Чамбарак и вместе с альбит-сподуменовыми пегматитами образующие месторождение Дарай Печ [29].

Внутреннее строение пегматитовых жил альбит-сподуменового типа массивное, полосчатое, участками – зональное. Они сложены разнозернистым кварц-альбит-сподуменовым и кварц-альбитовым сахаровидными тонкозернистыми агрегатами; в подчиненном количестве – блоковым микроклином и кварц-альбитовой среднезернистой породой.

На схеме (рис. 4) показано, что минеральный состав пегматитовых жил и их внутреннее строение незначи-

тельно изменяются от высоты 1700 до 2400 м.

Внутреннее строение пегматитовых тел альбитового типа участками зональное. Жилы сложены на 70–80 % разнозернистым кварц-микроклин-альбитовым агрегатом (рис. 4). Остальная часть жил выполнена блоковым микроклином и кварц-альбит-сподуменовым срастанием. Гнезда с лепидолитом, амблигонитом, танталитом и полихромным турмалином встречаются спорадически.

Во внутреннем строении жил сподумен-альбитового типа выделяются четыре основных структурно-парагенетических комплекса (рис. 4):

1. Тонкозернистый, местами сахаровидный, кварц-альбитовый агрегат.

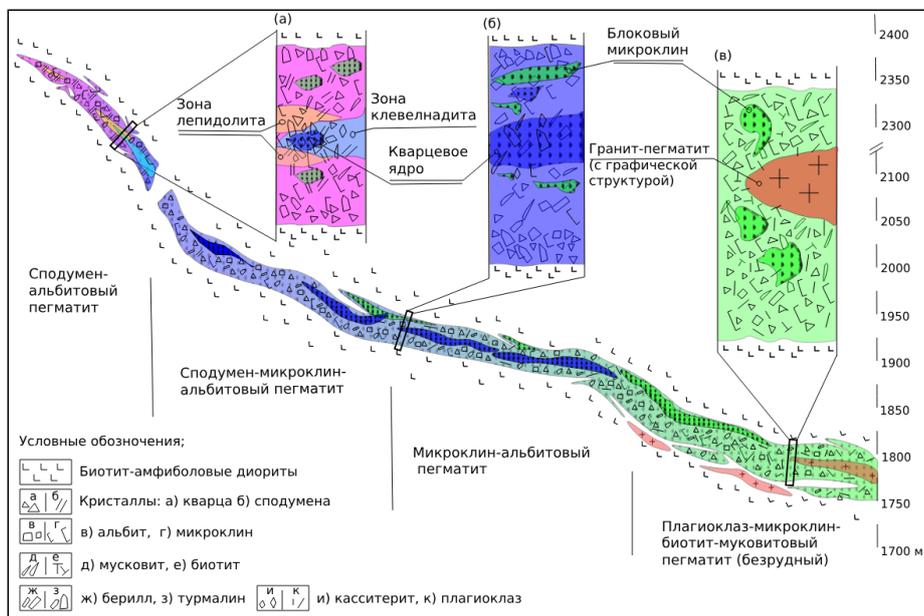


Рисунок 4. Схема изменения минерального состава в пегматитовой жиле по мере удаления от корневого контакта с гранитоидом, нижний правый угол, до головной части жилы на месторождении Дигал: а) сподумен-альбитовый; б) микроклин-альбитовый; в) плагиоклаз-микроклин-биотит-мусковитовый составы. Составлено авторами.

Figure 4. Scheme of changes in the mineral composition of pegmatite vein with distance from the root contact with the granitoid, lower right corner, to the head of the vein at the Dигал deposit: а) spodumene-albite; б) microcline-albite; в) plagioclase-microcline-biotite-muscovite compositions. Prepared by the authors.

2. Кварц-альбит-сподуменовый комплекс.
3. Блоковый микроклин.
4. Зона клевеландита и лепидолита.

В количественном отношении первые два комплекса резко преобладают над третьим. Текстура жил, несмотря на наличие отдельных явно зональных участков, частично зональная. Иногда все три комплекса переплетаются самым причудливым образом. Например, если на каком-то участке жилы преобладает кварц-альбит-сподуменовый комплекс, то в нем всегда рассеяны отдельные блоки микроклина или их скопления, а также гнезда или полосы сахаровидного альбита. Наоборот, если в жиле преобладает полевой шпат, то кварц-альбит-сподуменовый комплекс образует здесь гнездообразные участки или жилообразные обособления. Из редкометалльных минералов в жилах присутствуют: сподумен, мелковкрапленный берилл, тонкопластинчатый колумбит-танталит и касситерит.

В пространственном расположении пегматитов поля Дарай Печ устанавливается совершенно отчетливая закономерность: в самых низах гипсометрической последовательности, начиная от материнского гранитного тела, залегают преимущественно плагиоклаз-микроклиновые жилы, выше – микроклин-альбитовые, еще выше – крупные жилы альбитовых пегматитов с редкими кристаллами сподумена, в самом верху располагаются крупные жилы альбит-сподуменовой типа. Наиболее дифференцированные зональные жилы залегают в средней части установленной последовательности. От них к низу и вверх зональность в жилах уменьшается, и вместо отчетливо зональной текстуры в пегматитах появляются частично зональная и даже массивная.

По мере перехода от нижних жил к верхним количество микроклина последовательно уменьшается от 42 до 13 %, а количество альбита возрастает от 25 до 35 %. Одновременно увеличивается количество сподумена – от 0.1 до 15 %. Содержание берилла возрастает от нижних к средним жилам, достигая максимума в микроклин-альбитовых пегматитах. Далее вверх его содержание, видимо, не уменьшается, но рудоразборный берилл заменяется мелковкрапленным.

Практическое значение из четырех названных выше типов пегматитов имеют только микроклин-альбитовые и альбит-сподуменовые. Общая длина выхода самой крупной жилы на поверхность равна 1260 м, но поскольку пегматитовое тело вскрыто эрозионным срезом по диагонали, то длина его вскрытой части по простиранию не превышает 825 м, а по падению протяженность жилы достигает 765 м. Мощность жилы колеблется от 40 см до 4–6 м, в среднем составляет 2 м.

Заключение

По характеру залегания пегматитовые тела в поле Дарай Печ можно разделить на две группы. Первая – крутопадающие жилы с углом падения от 45 до 85°, залегающие в основном среди филлитовых сланцев верхнетриасового возраста и гнейсов нижнего протерозоя. Они имеют симметричную зональную структуру, причем одни и те же зоны по минералогическому составу существуют по обе

стороны ядра жилы. Эти жилы очень редко встречаются среди интрузивных пород габбро-диоритов комплекса Нилау.

Вторая группа – пологопадающие жилы с углами падения 7–30°. Они имеют асимметричную зональную структуру – в нижней части, в лежачем боку, проявлены относительно мелко- и среднезернистые зоны, а в висячем фланге среднезернистый пегматит постепенно сменяется крупнозернистым. Такие жилы не имеют центрального ядра. Их основная масса располагается среди габбро-диоритов комплекса Нилау, редко встречается в гнейсах и очень редко – в сланцах.

Установлена взаимосвязь между размещением пегматитов и фаз внедрения гранитных массивов. Особенности важной является зависимость между пегматитами редкометалльной специализации с III-фазой гранитоидного комплекса Лагман. Данная закономерность указывает на их генетическое родство и возможность формирования из специализированного по редким металлам, по литию и др., гранитного расплава. То есть граниты III-фазы внедрения комплекса Лагман могут быть использованы в качестве поискового признака для новых редкометалльных пегматитов в регионе.

Установлена закономерность размещения пегматитов вокруг гранитных массивов. Высокотемпературные жилы с преобладанием микроклиновых пегматитов обычно встречаются вблизи интрузии, тогда как жилы, несущие сподумен, наблюдаются в более низких температурных условиях, на значительном расстоянии от материнского гранитного массива.

В этом же ряду изменяется минералогический состав пегматитов. По мере удаления от гранитов пегматиты существенно микроклинового состава последовательно сменяются альбитовыми, сподумен-альбитовыми и лепидолит-сподумен-клевеландитовыми. Полное отсутствие биотита, повышенное содержание мусковита и проявления клевеландита в пегматитах могут служить индикаторами поисков драгоценных камней.

В ходе полевых работ в пегматитовом поле Дарай Печ в общей сложности закартировано 22 пегматитовых тела. По результатам исследования можно сделать вывод, что изученная площадь чрезвычайно богата редкими металлами и драгоценными камнями. Используя установленные закономерности в их размещении, предлагается расширить поисковые и разведочные работы на рассматриваемой территории с целью обнаружения новых крупных месторождений редкометалльного сырья.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Бескин, С. М. Особенности гранитовых систем с редкометалльными пегматитами / С. М. Бескин, Ю. Б. Марин // Записки Российского минералогического общества. – 2019. – Т. 148, № 4. – С. 1–16.
2. London, D. Granitic pegmatites / D. London // Transactions of the Royal Society of Edinburgh : Earth Sciences. – 1996. – Vol. 87. – № 1–2. – P. 305–319.

3. Alekseev, V. I. On the genesis of "white granite" from the Kester harpolith, Arga-Ynnakh-Khaya pluton, East Yakutia / V. I. Alekseev, Y. B. Marin // *Russian Mineralogical Society*. – 2021. – Vol. 62. – № 1. – P. 719–730.
4. London, D. A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites / D. London // *Lithos*. – 2014. – Vol. 184–187. – P. 74–104.
5. Černý, P. Rare-element granitic pegmatites. Part I : Anatomy and Internal Evolution of Pegmatite Deposits / P. Černý // *Geoscience Canada*. – 1991. – Vol. 18. – № 2. – P. 49–67.
6. Černý, P. Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatites in the light of current research / P. Černý // *Applied Geochemistry*. – 1992. – № 4. – P. 393–416.
7. Jahns, R. H. Experimental studies of pegmatite genesis : A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites / R. H. Jahns, C. W. Burnham // *Economic Geology*. – 1969. – Vol. 64. – № 8. – P. 842–864.
8. Rossovskiy, L. N. Distribution patterns of rare-metal pegmatites in the Hindu Kush (Afghanistan) / L. N. Rossovskiy, V. M. Chmyrev // *International Geology Review*. – 1977. – Vol. 19. – № 5. – P. 511–520.
9. Скублов, С. Г. Редкоэлементный состав берилла из месторождений сподуменовых пегматитов провинции Кунар, Афганистан / С. Г. Скублов, А. Юсуфзай, А. Н. Евдокимов, А. К. Гаврильчик // *Минералогия*. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 58–77.
10. Mosazai, A. M. The geological characteristics and economical importance of pegmatite belt of Afghanistan / A. M. Mosazai, A. Yousufi, H. Ahmadi // *Geology and Bowels of the Earth (Russian)*. – 2017. – Vol. 65. – № 4. – P. 26–33.
11. Cocker, M. D. Summaries of important areas for mineral investment and production opportunities of nonfuel minerals in Afghanistan / M. D. Cocker // *Open-file report, US Geological Survey*. – 2011. – P. 2011–1204.
12. Rossovskiy, L. N. Features of the formation of the rare-metal pegmatites under conditions of compression and tension (as exemplified by the Hindu Kush region) / L. N. Rossovskiy, S. I. Konovalenko // *International Geology Review*. – 1979. – Vol. 21. – № 7. – P. 755–764.
13. Rossovskiy, L. N. New fields and belts of rare-metal pegmatites in the Hindu Kush (Eastern Afghanistan) / L. N. Rossovskiy, V. M. Chmyrev, A. S. Salakh // *International Geology Review*. – 1976. – Vol. 18. – № 11. – P. 1339–1342.
14. Mashkoo, R. Detecting Li-bearing pegmatites using geospatial technology : the case of SW Konar Province, Eastern Afghanistan / R. Mashkoo, H. Ahmadi, A. B. Rahmani, E. Pekkan, // *Geocarto International*. – 2022. – Vol. 37. – № 26. – P. 1–22.
15. Lai, B. U–Pb dating, gemology, and chemical composition of apatite from Dara-e-Pech, Afghanistan / B. Lai, B. Xu, Y. Zhao // *Crystals*. – 2023. – Vol. 14. – № 1. – P. 34.
16. Beskin, S. Granite systems with rare-metal pegmatites / S. Beskin, Y. B. Marin // *Geology of Ore Deposits*. – 2020. – Vol. 62. – № 4. – P. 554–563.
17. Popov, M. P. Peculiarities of rare-metal mineralization and genetic relationship of mineral associations in the eastern rim of Murzinsko-Aduysky anticlinorium (the Ural Emerald Belt) / M. P. Popov // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Vol. 255. – № 3. – P. 337–348.
18. Machevariani, M. M. Complex characteristic of zircon from granitoids of the Verkhneurmiskiy Massif (Amur region) / M. M. Machevariani, A. V. Alekseenko, J. Bech // *Minerals*. – 2021. – Vol. 11. – № 1. – P. 1–29.
19. Rossovskiy, L. N. Rare-metal pegmatites with precious stones and conditions of their formation (Hindu Kush) / L. N. Rossovskiy // *International Geology Review*. – 1981. – Vol. 23. – № 11. – P. 1312–1320.
20. Faryad, S. W. Magmatism and metamorphism linked to the accretion of continental blocks south of the Hindu Kush, Afghanistan / S. W. Faryad, S. Collett, M. Petterson, S. A. Sergeev // *Lithos*. – 2013. – Vol. 175–176. – P. 302–314.
21. Alekseev, V. I. Type intrusive series of the Far East belt of lithium–fluoric granites and its ore content / V. I. Alekseev // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Vol. 255. – № 3. – P. 377–392.
22. London, D. Formation of tourmaline-rich gem pockets in miarolitic pegmatites / D. London // *American Mineralogist*. – 1986. – Vol. 71. – P. 396–405.
23. Skublov, S. G. Geochemistry of beryl varieties: comparative analysis and visualization of analytical data by principal component analysis (PCA) and t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE) / S. G. Skublov, A. K. Gavrilchik, A. V. Berezin // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Vol. 255. – № 3. – P. 455–469.
24. Morozova, L. N. Li-Cs-Na-rich beryl from beryl-bearing pegmatite dike No. 7 of the Shongui deposit, Kola Province, Russia / L. N. Morozova, S. G. Skublov, D. R. Zozulya, P. A. Serov, E. S. Borisenko [et al.] // *Geosciences (Switzerland)*. – 2023. – Vol. 13. – № 10.
25. Петровичев, Д. А. Коллекционные и ювелирные касситериты; перспективы добычи / Д. А. Петровичев // *Отечественная геология*. – 2018. – Т. 3. – С. 68–77.
26. Литвиненко, А. К. Геология Черногорского месторождения ювелирного скаполита на Центральном Памире (Таджикистан) / А. К. Литвиненко, С. Б. Моисеева, Ш. А. Одинаев, В. А. Утенков // *Геология рудных месторождений*. – 2019. – Т. 61, № 5. – С. 96–108.
27. Rossovskiy, L. N. The Kulam kunzite deposit in Afghanistan / L. N. Rossovskiy, V. M. Chmyrev, A. S. Salakh // *International Geology Review*. – 1977. – Vol. 19. – № 12. – P. 1429–1432.
28. Gavrilchik, A. K. Trace element composition of beryl from the Sherlovaya Gora deposit, Southeastern Transbaikalian Region, Russia / A. K. Gavrilchik, S. G. Skublov, E. L. Kotova // *Geology of Ore Deposits*. – 2022. – Vol. 64. – № 7. – P. 442–451.
29. Alekseev, V. I. Evolution of mineral forms of rare element accumulation in ore-bearing granites and metasomatites of Verkhneurmiskiy ore cluster (Priamur region) / V. I. Alekseev, K. G. Sukhanova, I. M. Gembitskaya // *Journal of Mining Institute*. – 2017. – Vol. 224. – P. 149–155.

References

1. Beskin, S. M. Osobennosti granitovykh sistem s redko-metal'nymi pegmatitami [Features of granite systems

- with rare metal pegmatites] / S. M. Beskin, Yu. B. Marin // *Zapiski Rossiiskogo Mineralogicheskogo Obshchestva [Letters of the Russian Mineralogical Society]*. – 2019. – Vol. 148. – № 4. – P. 1–16.
2. London, D. Granitic pegmatites / D. London // *Transactions of the Royal Society of Edinburgh : Earth Sciences*. – 1996. – Vol. 87. – № 1–2. – P. 305–319.
 3. Alekseev, V. I. On the genesis of “white granite” from the Kester harpolith, Arga–Ynnakh–Khaya pluton, East Yakutia / V. I. Alekseev, Y. B. Marin // *Russian Mineralogical Society*. – 2021. – Vol. 62. – № 1. – P. 719–730.
 4. London, D. A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites / D. London // *Lithos*. – 2014. – Vol. 184–187. – P. 74–104.
 5. Černý, P. Rare-element granitic pegmatites. Part I : Anatomy and Internal Evolution of Pegmatite Deposits / P. Černý // *Geoscience Canada*. – 1991. – Vol. 18. – № 2. – P. 49–67.
 6. Černý, P. Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatites in the light of current research / P. Černý // *Applied Geochemistry*. – 1992. – № 4. – P. 393–416.
 7. Jahns, R. H. Experimental studies of pegmatite genesis : A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites / R. H. Jahns, C. W. Burnham // *Economic Geology*. – 1969. – Vol. 64. – № 8. – P. 842–864.
 8. Rossovskiy, L. N. Distribution patterns of rare-metal pegmatites in the Hindu Kush (Afghanistan) / L. N. Rossovskiy, V. M. Chmyrev // *International Geology Review*. – 1977. – Vol. 19. – № 5. – P. 511–520.
 9. Skublov S.G. Redkozemelnyi sostav berila iz mestorozhdeniy spodumenovykh pegmatitov provintsii Kunar, Afghanistan [Trace element composition of beryl from spodumene pegmatite deposits of the Kunar Province, Afghanistan] / S. G. Skublov, A. Yosufzai, A. N. Evdokimov, A. K. Gavrilchik // *Mineralogy*. – 2024. – Vol. 10. – № 2. – P. 58–77.
 10. Mosazai, A. M. The geological characteristics and economical importance of pegmatite belt of Afghanistan / A. M. Mosazai, A. Yousufi, H. Ahmadi // *Geology and Bowels of the Earth (Russian)*. – 2017. – Vol. 65. – № 4. – P. 26–33.
 11. Cocker, M. D. Summaries of important areas for mineral investment and production opportunities of nonfuel minerals in Afghanistan / M. D. Cocker // *Open-file report, US Geological Survey*. – 2011. – P. 2011–1204.
 12. Rossovskiy, L. N. Features of the formation of the rare-metal pegmatites under conditions of compression and tension (as exemplified by the Hindu Kush region) / L. N. Rossovskiy, S. I. Konovalenko // *International Geology Review*. – 1979. – Vol. 21. – № 7. – P. 755–764.
 13. Rossovskiy, L. N. New fields and belts of rare-metal pegmatites in the Hindu Kush (Eastern Afghanistan) / L. N. Rossovskiy, V. M. Chmyrev, A. S. Salakh // *International Geology Review*. – 1976. – Vol. 18. – № 11. – P. 1339–1342.
 14. Mashkoo, R. Detecting Li-bearing pegmatites using geospatial technology : the case of SW Konar Province, Eastern Afghanistan / R. Mashkoo, H. Ahmadi, A. B. Rahmani, E. Pekkan // *Geocarto International*. – 2022. – Vol. 37. – № 26. – P. 1–22.
 15. Lai, B. U–Pb dating, gemology, and chemical composition of apatite from Dara-e-Pech, Afghanistan / B. Lai, B. Xu, Y. Zhao // *Crystals*. – 2023. – Vol. 14. – № 1. – P. 34.
 16. Beskin, S. Granite systems with rare-metal pegmatites / S. Beskin, Y. B. Marin // *Geology of Ore Deposits*. – 2020. – Vol. 62. – № 4. – P. 554–563.
 17. Popov, M. P. Peculiarities of rare-metal mineralization and genetic relationship of mineral associations in the eastern rim of Murzinsko–Aduysky anticlinorium (the Ural Emerald Belt) / M. P. Popov // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Vol. 255. – № 3. – P. 337–348.
 18. Machevariani, M. M. Complex characteristic of zircon from granitoids of the Verkhnemurskiy Massif (Amur region) / M. M. Machevariani, A. V. Alekseenko, J. Bech // *Minerals*. – 2021. – Vol. 11. – № 1. – P. 1–29.
 19. Rossovskiy, L. N. Rare-metal pegmatites with precious stones and conditions of their formation (Hindu Kush) / L. N. Rossovskiy // *International Geology Review*. – 1981. – Vol. 23. – № 11. – P. 1312–1320.
 20. Faryad, S. W. Magmatism and metamorphism linked to the accretion of continental blocks south of the Hindu Kush, Afghanistan / S. W. Faryad, S. Collett, M. Petterson, S. A. Sergeev // *Lithos*. – 2013. – Vol. 175–176. – P. 302–314.
 21. Alekseev, V. I. Type intrusive series of the Far East belt of lithium–fluoric granites and its ore content / V. I. Alekseev // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Vol. 255. – № 3. – P. 377–392.
 22. London, D. Formation of tourmaline-rich gem pockets in miarolitic pegmatites / D. London // *American Mineralogist*. – 1986. – Vol. 71. – P. 396–405.
 23. Skublov, S. G. Geochemistry of beryl varieties: comparative analysis and visualization of analytical data by principal component analysis (PCA) and t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE) / S. G. Skublov, A. K. Gavrilchik, A. V. Berezin // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Vol. 255. – № 3. – P. 455–469.
 24. Morozova, L. N. Li–Cs–Na-rich beryl from beryl-bearing pegmatite dike No. 7 of the Shongui deposit, Kola Province, Russia / L. N. Morozova, S. G. Skublov, D. R. Rozulya, P. A. Serov, E. S. Borisenko [et al.] // *Geosciences (Switzerland)*. – 2023. – Vol. 13. – № 10.
 25. Petrochenkov, D. A. Kolleksiionnyye i yuvelirnyye kassiterity; perspektivy dobychi [Collectible and jewelry cassiterites; production prospects] / D. A. Petrochenkov // *Otechestvennaya Geologiya [National Geology]*. – 2018. – Vol. 3. – P. 68–77.
 26. Litvinenko, A. K. Geologiya Chernogorskogo mestorozhdeniya yuvelirnogo skapolita na Tsentral'nom Pamire (Tadzhikistan) [Geology of the Chernogorsk jewelry scapolite deposit in the Central Pamirs (Tajikistan)] / A. K. Litvinenko, S. B. Moiseeva, Sh. A. Odinaev, V. A. Utenkov // *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*. – 2019. – Vol. 61. – № 5. – P. 96–108.
 27. Rossovskiy, L. N. The Kulam kunzite deposit in Afghanistan / L. N. Rossovskiy, V. M. Chmyrev, A. S. Salakh // *International Geology Review*. – 1977. – Vol. 19. – № 12. – P. 1429–1432.

28. Gavrilchik, A. K. Trace element composition of beryl from the Sherlovaya Gora deposit, Southeastern Transbaikal Region, Russia / A. K. Gavrilchik, S. G. Skublov, E. L. Koto-va // *Geology of Ore Deposits*. – 2022. – Vol. 64. – № 7. – P. 442–451.
29. Alekseev, V.I. Evolution of mineral forms of rare element accumulation in ore-bearing granites and metasomatites of Verkhneurmisk ore cluster (Priamur region) / V. I. Alekseev, K. G. Sukhanova, I. M. Gembitskaya // *Journal of Mining Institute*. – 2017. – Vol. 224. – P. 149–155.

Информация об авторах:

Евдокимов Александр Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II; Scopus Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-8121-0426> (119192, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, д. 2; e-mail: evdokimov_an@spmi.ru).

Юсуфзай Атаулла – аспирант-исследователь кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II; Scopus Author ID: <https://orcid.org/0000-0001-6549-4409> (119192, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, д. 2; e-mail: s215138@stud.spmi.ru).

Мусазаи Амир Морхаммад – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Кабульского политехнического университета (1001, Афганистан, г. Кабул, Район-5, Карта-е-Мамурин; e-mail: mosazai@gmail.com).

About the authors:

Alexander N. Evdokimov – Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor at the Department of Geology and Exploration of Minerals Deposits, Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II. Scopus Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-8121-0426> (Building 2, 21st Line, Vasilyevsky Island, Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation; e-mail: evdokimov_an@spmi.ru).

Ataullah Yosufzai – PhD Student, Department of Geology and Exploration of Minerals Deposits, Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II. Scopus Author ID: <https://orcid.org/0000-0001-6549-4409> (Building 2, 21st Line, Vasilyevsky Island, Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation; e-mail: s215138@stud.spmi.ru).

Amir Mohammad Mosazai – Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor at the Department of Geology and Exploration of Minerals Deposits, Kabul Polytechnic University (Karta-e-Mamurin, 5-District, Kabul 1001, Afghanistan; e-mail: mosazai@gmail.com).

Для цитирования:

Евдокимов, А. Н. Внутреннее строение и закономерности распределения минеральных типов редкометалльных пегматитов в долине Дарай Печ (провинция Кунар, Афганистан) / А. Н. Евдокимов, А. Юсуфзай, А. М. Мусазаи // *Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле»*. – 2024. – № 3 (69). – С. 52–62.

For citation:

Evdokimov, A. N. Vnutrennee stroenie i zakonomernosti raspredeleniya mineralnyh tipov redkometalnyh pegmatitov v doline Daraj Pech (provinciya Kunar, Afganistan) [Internal structure and distribution patterns of mineral types of rare metal pegmatites in the Darai Pech valley (Kunar province, Afghanistan)] / A. N. Evdokimov, A. Yosufzai, A. M. Mosazai // *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences"*. – 2024. – № 3 (69). – P. 52–62.

Дата поступления статьи: 21.03.2024

Прошла рецензирование: 21.03.2024

Принято решение о публикации: 27.03.2024

Received: 21.03.2024

Reviewed: 21.03.2024

Accepted: 27.03.2024