

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ
ГРАНИТОИДНОГО КОМПЛЕКСА ЛАГМАН, АФГАНИСТАНА. Н. Евдокимов¹  и А. Юсуфзай^{*1,2} ¹ Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт Петербург, Россия² Кабульский политехнический университет, г. Кабул, Афганистан* **Контакт:** Атаулла Юсуфзай, ata.yosufzai@gmail.com

Редкометалльные пегматиты с промышленными содержаниями лития, тантала, ниобия, цезия, бериллия и олова приобретают растущее значение в качестве сырьевых объектов для производства электрооборудования, аккумуляторных батарей и электроники. В этой связи актуальным является изучение закономерностей их геолого-структурного положения, что позволит установить поисковые признаки для обнаружения новых ресурсных объектов и наращивания запасов уже известных пегматитовых месторождений редких металлов в зоне Нуристан в Северо-Восточном Афганистане. Здесь пегматитовые поля пространственно ассоциируют с олигоценовыми гранитами комплекса Лагман и расположены в провинциях Афганистана: Нуристан, Кунар, Лагман, Кабул, Нангархар, Каписа, Панджшер и Бадахшан. Они известны с древнейших времен как источники драгоценных камней и слюды. Гранитоидный комплекс Лагман характеризуется последовательным внедрением трех интрузивных фаз: 1 – диориты, кварцевые диориты, гранодиориты и плагиограниты; 2 – порфиroidные биотитовые, амфибол-биотитовые граниты и гранодиориты; 3 – двуслюдяные и биотитовые граниты, гранит-порфиры, аплитовые и пегматоидные граниты. Редкометалльные пегматиты приурочены к третьей фазе внедрения гранитов Лагман. Здесь граниты характеризуются неоднородной текстурой – от гранобластовой до гранитной с фрагментами аплитовой и пойкилитовой. Вмещающими породами пегматитов являются триасовые филлитовидные кварц-слюдяные сланцы и протерозойские гнейсы и кварциты. Кроме того, пегматиты находятся в интрузивных породах, а именно в массивах габбро-диоритов комплекса Нилау. Морфология тел редкометалльных пегматитов разнообразна. Преобладают жилы с раздувами и плитообразные тела, меньше линзовидных форм и разноориентированных жил. Мощность пегматитовых жил от 1 до 60 м, длина от десятков метров до 2–5 км. Предполагается, что формирование гранитоидного комплекса Лагман есть следствие коллизии Индостанского континента с Евразией.

Ключевые слова: Редкометалльные пегматиты, геологическое строение, тектоника, сподумен, гранитоид, гранит, диорит, Нуристан, Афганистан.

Цитирование: Евдокимов, А. Н., А. Юсуфзай Геологическая позиция редкометалльных пегматитов гранитоидного комплекса Лагман, Афганистан // Russian Journal of Earth Sciences. — 2025. — Т. 25. — ES1002. — DOI: 10.2205/2025es000998 — EDN: CRXZQL

<https://elibrary.ru/crxzql>

Получено: 30 января 2024 г.

Принято: 3 февраля 2025 г.

Опубликовано: 13 февраля 2025 г.



© 2025. Коллектив авторов.

Введение

Спрос на редкие металлы, такие как литий, растет, в мире наблюдается отчетливая тенденция к снижению зависимости от ископаемого топлива. Электромобили, в которых в качестве важного компонента используются литий-ионные аккумуляторы [Bibienne et al., 2020; Kavanagh et al., 2018; Tadesse et al., 2019], находятся в авангарде «зеленых» технологий [Chen et al., 2023; Gourcerol et al., 2019; Müller et al., 2022].

Редкометалльные пегматиты гранитоидного комплекса Лагман, локализованные в зоне Нуристан, образуют одну из крупнейших пегматитовых провинций мира

[*Mashkoor et al., 2022*] с промышленной минерализацией тантала, ниобия, лития, цезия, бериллия, олова и драгоценных камней. Она известна с древнейших времен. Бадахшан, Нуристан, Читрал и Кашмир [*Soret et al., 2019*] образуют единую геологическую область, где из пегматитов издавна добывались драгоценные камни и слюда [*Rossovskiy and Chmyrev, 1977*].

В Афганистане выделяется четыре пегматитовые пояса: Нуристанский длиной 400 км, Гиндукушский – 180 км, Бадахшанский – 150 км и Гильмандский – 200 км [*Rossovskiy and Chmyrev, 1977*]. Нуристанский, Гиндукушский и Бадахшанский пегматитовые пояса располагаются в центральной, северо-восточной части Афганистана в пределах Нуристан-Памирского срединного массива, а Гильмандский пояс находится в Центральном Афганистане в пределах Шахристанского срединного массива. В пределах вышеназванных пегматитовых поясов выделены 24 пегматитовых поля, 21 из которых сосредоточено в северо-восточной части Афганистана и 3 в центральной части [*Мусазаи, 1988; Mashkoor et al., 2022*].

Известно, что пегматитовые жилы размещаются, как правило, полями, которые приурочены к определенным тектоническим структурам [*Алексеев, 2022; Popov et al., 2020*].

Цель и задача данной статьи – определить закономерности размещения пегматитов тектонической зоны Нуристан в геологической структуре Афганистана. Актуальность изучения тектонической позиции гранитоидов и пегматитов на территории Нуристана определяется растущей потребностью в литиевом сырье. В молодых складчатых областях, к которым относят и регион развития гранитоидов и пегматитов комплекса Лагман, обычно, обнаруживают непосредственную связь с материнскими гранитами [*Бескин и Марин, 2019; Симонов, 2020*].

В соответствии с современными концепциями тектонического развития региона [*Буртман, 2013; Shroder et al., 2021; Siehl, 2015*], гранитоидный комплекс Лагман образовался в условиях надсубдукционной геодинамической обстановки. Здесь проявились линейные складчатые структуры северо-восточного простирания, которые приурочены к коллизионным надвиговым зонам Индостанского континента и Евразии [*Алексеев и Ребецкий, 2021; Ребецкий и Алексеев, 2014; Трифонов и др., 2021*].

Обзор литературы

Первые сведения о пегматитах Афганистана известны из публикации 1911 г. Х. Хьюберта [*Hayden, 1911*], где описаны пластовые тела пегматитов мощностью 100 ярдов и протяженностью в несколько миль. Простирание таких тел субширотное. Х. Хайден определил эти тела, как Гималайский тип пегматитов [*Загорский и др., 2014*] кварц-полевошпатового состава с мусковитом, шерлом и бериллом.

В 1928 г. об этих пегматитах упоминает Л. А. Николаевич [*Лабунцов, 1930*]. В 1958 г. в неопубликованном отчете С. Х. Мирзада впервые было сказано о литиевой минерализации пегматитов, в 1962 г. [*Солодов, 1962; Ткачев и др., 2019*] изучили зональность пегматитов Дарай-Печ, в 1965 г. было открыто пегматитовое поле Нилау, а также установлено широкое развитие редкометалльных пегматитов в долинах рек Вайгал, Парун и Алингар.

В 1971–1974 гг. Л. Н. Россковский, И. Ю. Нуйсков, В. М. Чмырев, А. Шарек и другие составили отчет – первую сводную работу – монографию о редкометалльных пегматитах Афганистана [*Россовский и др., 1974*], в которой рассматриваются закономерности их размещения, главные особенности и минералы, имеющие практическую ценность. В эти годы в Афганистане велись специализированные поисково-оценочные работы на редкометалльные пегматиты. В результате были открыты новые крупные поля пегматитов, образующие четыре пегматитовых пояса [*Mashkoor et al., 2022; Rossovskiy and Chmyrev, 1977*], выявлены месторождения лития, установлена танталоносность пегматитовой провинции Восточного Афганистана и обнаружены перспективные на тантал объекты. В этот период впервые в Афганистане был найден поллуцит, открыто

уникальное месторождение кунцита – редкого драгоценного камня 4 класса и выявлены объекты, перспективные на пьезооптическое сырье – пьезокварц и турмалин.

В 1988 г. Афганские геологи Н. Сахак [Сахак, 1988] и А. М. Мусазаи [Мусазаи, 1988] защитили кандидатские диссертации о пегматитах гранитоидного комплекса Лагман. После этого работы проводили специалисты геологических служб Великобритании и США. В 2007–2011 гг. Геологическая служба США собрала геофизические данные о частях пегматитовых месторождений на северо-востоке Афганистана [Cocker, 2011; Orris and Bliss, 2002; Peters et al., 2007].

Российские исследования пегматитов отражены в трудах А. Е. Ферсмана, а позднее – А. И. Гинзбурга, В. Д. Никитина, В. В. Гордиенко, Ю. Б. Марина, В. И. Алексеева и других.

Развитие и внедрение в производство новых технологий потребовало большого количества редких элементов: ниобия, тантала, цезия, лития, бериллия, а также минералов пегматитов: пьезокварца, турмалина, оптического флюорита, мусковита и микроклина, остается большая востребованность в керамическом сырье.

По мнению В. Д. Никитина образование пегматитов происходило в открытой системе и сопровождалось метасоматической кристаллизацией редкометалльных минералов в ходе перекристаллизации собственно гранитов и аплитов [Морозова, 2018; Огородников и др., 2020].

В основу такой концепции легли воззрения на рудогенез Д. С. Коржинского, а до него – А. Н. Заварицкого 1944 г.

А. И. Гинзбург и Г. Г. Родионов предложили разделять пегматиты по глубинности их образования на четыре формации: 1) пьезокварцевые (2–2,5 км); 2) редкометалльные (3,5–6 км); 3) мусковитовые (6–8 км); 4) редкоземельные (свыше 8–9 км) [Гинзбург и др., 1979; Огородников и др., 2020].

Гранитные пегматиты провинции Нуристан – это крупнозернистые магматические породы с минералогическим составом гранитов. Они обогащены редкими элементами: Li, Cs, Ta, Nb, Rb, Y, REE, Sc, U, Sn, F, B, Be [Gavrilchik et al., 2022; Liu et al., 2023; Sirbescu et al., 2023]. То есть они относятся ко четвертой формациям по уровням глубинности.

Не всегда редкометалльный гранит ассоциирует с редкометалльными пегматитами [Бескин и Марин, 2019; Гинзбург и др., 1979]. Крупные промышленные месторождения редких металлов часто связаны с пегматитовыми поясами различной рудной специализации [Алексеев, 2022; Гаврильчик и др., 2021; Морозова и др., 2020]. Так, например, крупное литиевое месторождение Вейнебене в Австрии расположено в альпийской зоне тектогенеза [Gourcerol et al., 2019; Tkachev et al., 2018], в которой часть пегматитовых жил не несет редкометалльной минерализации. Пегматитовый пояс Монгольского Алтая содержит месторождение редкометалльных пегматитов Коктогай [Бескин и Марин, 2019]. Здесь, кроме редкометалльных пегматитовых жил, также присутствуют жилы слюдоносных и безрудных пегматитов [Морозова и др., 2020]. Аналогичным примером являются Нуристанский, Гиндукушский и Бадахшанский редкометалльные пегматитовые пояса Афганистана, в которых преобладают пегматиты петалит-сподуменового типа, но встречаются и безрудные пегматитовые тела. При этом, например, Нуристанский пегматитовый пояс содержат семь полей редкометалльных пегматитов [Морозова и др., 2020; Cocker, 2011; Rossovskiyy and Chmyrev, 1977].

В 1977 г. Л. Н. Россовским и В. М. Чмыревым было обнаружено двадцать четыре месторождения редкометалльных пегматитов. Двадцать одно – в провинциях Нуристан, Кунар, Лагман, Нангархар и Бадахшан и три – в Центральном Афганистане [Rossovskiyy and Chmyrev, 1977]. В 1988 г. А. М. Мусазаи и соавторы открыли еще шестнадцать месторождений [Мусазаи, 1988; Mosazai et al., 2017].

В пределах развития пегматитовых полей редкометалльной специализации выделяют два типа гранитных пегматитов. Первый – комплексный, LCT тип (Li,Cs,Ta) [Černý and Ercit, 2005; Müller et al., 2018; Steiner, 2019], где жилы зональные и сложены крупнокристаллическим агрегатом сподумена, амблигонита, петалита, берилла, танталита

и касситерита в центральной части пегматитовых тел. Примером комплексных пегматитов являются месторождения: Бикита, Коктогай, Карибиб. Второй – беззональный, альбит-сподуменовый, представлен протяженными дайками [Бескин и Марин, 2019; Kuznetsova et al., 2021]. Это месторождения: Тастыгское, Гольцовое, Колмозеро.

По представлениям А. И. Гинзбурга и соавторов [Гинзбург и др., 1979] структурная приуроченность размещения редкометалльных гранитных пегматитов ЛСТ [Cardoso-Fernandes et al., 2022; Jonsson, 2018; Morozova et al., 2020] типа определяется наличием протяженных шовных зон между консолидированными блоками земной коры. Они имеют линейное простирание длиной в десятки километров и шириной от 10 до 30 км. Здесь проявлены: сдвигово-надвиговые дислокации, складчатость и метаморфизм от зеленосланцевой до амфиболитовой фации. К таким зонам приурочены фанерозойские пегматиты [Руднев и др., 2009; Ярмолок и др., 2013; Gvozdenko et al., 2022]. Структурная приуроченность докембрийских редкометалльных пегматитов связана с наличием троговых понижений в кристаллическом основании платформ [Трифонов и др., 2021; Scibek and Annesley, 2021; Tkachev et al., 2018]. По мнению С. Л. Хансона, [Hanson, 2016], В. Е. Загорского и др., [Загорский и др., 2014] поля редкометалльных пегматитов приурочены к постколлизийным структурам, образованным в земной коре в результате рифтогенных деформаций и сдвигово-надвиговой тектоники.

Геологический очерк территории

Пегматиты на территории Афганистана распространены преимущественно в пределах срединных массивов, претерпевших мезозойско-кайнозойскую тектономагматическую активизацию Н. Сахак [Сахак, 1988], А. М. Мусазай, [Мусазай, 1988], Л. Н. Россовский и соавторов [Rossovskiyy, 1981; Rossovskiyy and Chmyrev, 1977; Rossovskiyy and Konovafenko, 1979]. По В. И. Славину, к настоящему времени известны два срединных массива: Шахристанский [Славин и Мирзад, 1963; Mosazai et al., 2017; Shroder et al., 2021] и Нуристан-Памирский [Стажило-Алексеев, 2012; Abdullah et al., 2008; Siehl, 2015]. Нуристан-Памирский охватывает район Северо-восточной части Афганистана (рис. 1). В пределах Нуристан-Памирской области выделяются структурно-магматические зоны: Нуристан, Южный Бадахшан и Вахан [Славин, 1976; Стажило-Алексеев, 2012; Mosazai et al., 2017].

Зона Нуристан простирается вдоль горных хребтов Гиндукуша в пределах Нуристанской горной системы. Она ориентирована в субмеридиональном и северо – восточном направлениях. Ее протяженность – 400 км, максимальная ширина на юго – западе 130 км. Сложена преимущественно выходами древнего докембрийского основания [Стажило-Алексеев, 2012; Mosazai et al., 2017; Rossovskiyy and Chmyrev, 1977], а также, частично, комплексом палеозойско-мезозойских отложений. Докембрийский комплекс основания представлен гнейсами, мраморами, амфиболитами, кварцитами, кристаллическими сланцами амфиболитовой фации метаморфизма [Акбарпуран и др., 2020; Abdullah et al., 2008; Yosufzai, 2020]. Общая мощность протерозойского комплекса Нуристана составляет от 8500 до 10000 м [Peters et al., 2007]. А. Шарек, В. М. Чмырев, И. И. Дронов [Абдулла и др., 1980] здесь выделяют пять свит: Неджраб (800–2500 м), Чобак (1500–2100 м), Камдеш (2500 м), Вайгал (1000–1500 м), Камал (1500–2200 м). Осадочный чехол сложен каменноугольно-триасовыми мраморизованными известняками, кварцитами, слюдяными сланцами мощностью около 1000 м. Эти породы слабо дислоцированы и образуют пологие протяженные структуры. Пермо-триасовая толща представлена кварц-слюдистыми и гранат-ставролитовыми сланцами с небольшим количеством известняков и кварцитов. Эти слои относят к кашмундской серии [Левашова и др., 2024; Skublov et al., 2024] эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фациям метаморфизма [Shroder et al., 2021]. Нуристанский полихронный срединный массив разбит на ряд крупных блоков. Широко распространены гранитоиды, как древние, раннепротерозойские, так и мел-палеогеновые.

Возрастная последовательность основных геологических образований региона следующая: гнейсы раннепротерозойского возраста (PR₁gn), гнейсы и сланцы позднего

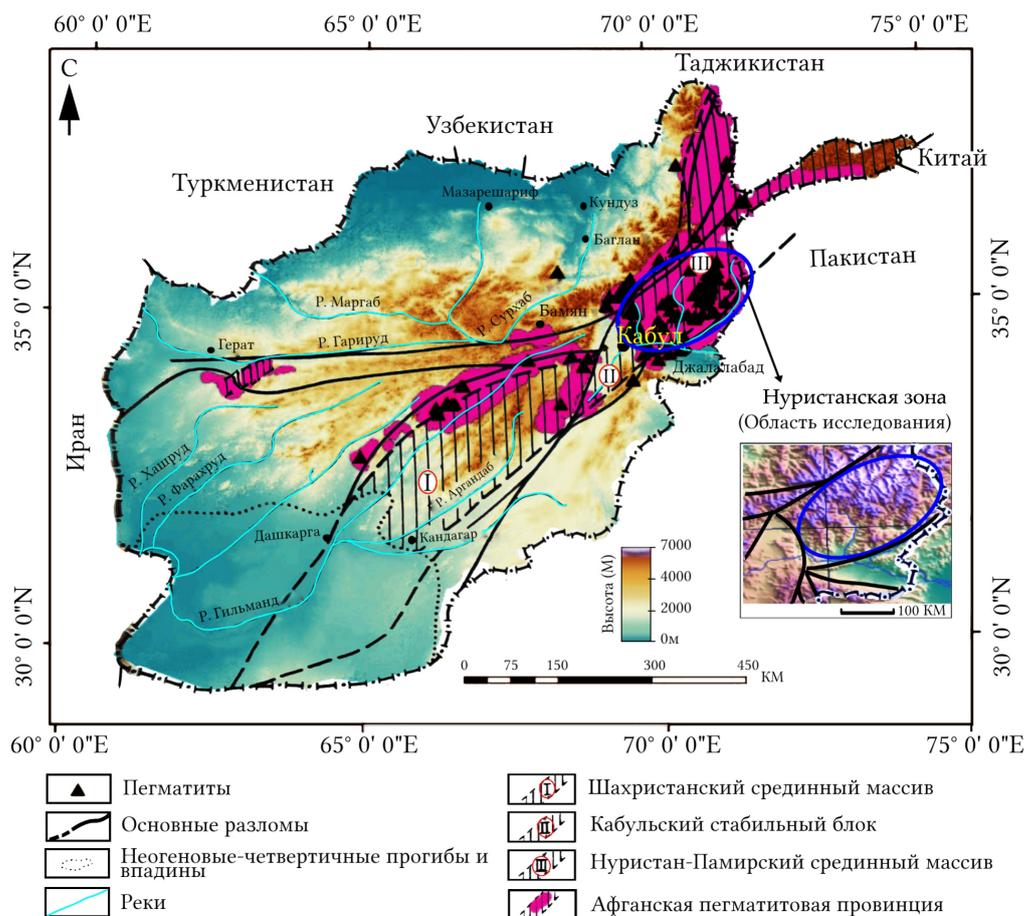


Рис. 1. Схема размещения Афганской пегматитовой провинции на географической основе республики Афганистан. Составлена авторами по материалам Л. Н. Россовского [Rossovskiy and Chmyrev, 1977; Rossovskiy and Konovafenko, 1979], А. Шарек [Abdullah et al., 2008] и М. Д. Кокера [Cocker, 2011; Peters et al., 2007], где: I – Шахристанской срединный массив; II – Кабульский стабильный блок; III – Нуристан-Памирский срединный массив.

протерозоя (PR_{3gn}), поздне триасовые алевролиты, песчаники и конгломераты (T_{3nrsls}), раннемеловые габбро, диориты, монзониты и пегматиты (K_{1gbm}), олигоценые гранодиориты и граносиениты (P_{3gdy}), олигоценые граниты (P_{3gr}) (рис. 2).

Раннепротерозойские гнейсы представлены двуслоянными, гранат-силлиманитовыми и кордиеритовыми разновидностями.

Позднепротерозойские образования представлены темно-серыми силлиманит-гранат-биотитовыми гнейсами, кристаллическими сланцами и мигматитами [Abdullah et al., 2008; Peters et al., 2007; Rossovskiy and Chmyrev, 1977].

Познетриасовые толщи относят к черносланцевой формации кварц-хлорит-мусковитовых и кварц-биотит-гранат-ставролитовых сланцев амфиболитовой фации метаморфизма [Абдулла и др., 1980; Rossovskiy and Chmyrev, 1977].

Магматизм в зоне Нуристан был проявлен с протерозоя по кайнозой [Стажжило-Алексеев, 2012; Abdullah et al., 2008; Shroder et al., 2021]. Протерозойские магматические образования представлены палингенно-метасоматическими гранитоидами, расположенными в выступах кристаллических толщ в западной части массива Нуристан, это комплекс Панджшер. Гранитоидов больше в пределах блока подчиненного порядка – Каписа, расположенного преимущественно в бассейнах рек Алишанг, Алингар и на левобережье р. Панджшер [Abdullah et al., 2008; Peters et al., 2007].

В зоне Нуристан весьма широко развиты интрузии гранитоидов мезокайнозойских тектоно-магматических этапов, сформированных во время автономной активизации этой структуры. Выделяются условно раннемеловые породы габбро-монцит-диоритовой формации (комплекс Нилау) и олигоценые гранитоиды батолитовой формации-комплекс Лагман [Abdullah et al., 2008; Machevariani et al., 2021; Rossovskiy and Chmyrev, 1977]. По мнению С. М. Бескина, Ю. Б. Марина, С. Хашеми и соавторов, В. И. Алексеева [Алексеев, 2021; Бескин и Марин, 2019; Ghasemi Siani et al., 2021], они могли возникнуть при альпийских тектонических движениях.

Комплекс Нилау представлен линзовидными и штокообразными телами габбро-диоритов. Они приурочены преимущественно к центру зоны Нуристан, реже наблюдаются в ее краевых частях. Наиболее крупные массивы габбро-диоритов описаны на правом берегу р. Дарай-Печ и в верхнем течении р. Алингар. Их площадь изменяется от 40 до 200 км². Более мелкие массивы габброидов отмечены в верховьях рек Тагао, Алишанг, Мунджан и других. Форма массивов сложная – от лополитообразной, штокообразной до линзовидной в плане.

Палеогеновые гранитоиды I фазы и II фазы внедрений относят к олигоценовому комплексу Лагман. Они пронизывают альпийскую складчатую область СВ простирания в регионе Нуристан, которая граничит: на северо-западе – с герцинскими сооружениями, а на юге и юго-востоке с омоложенными в альпийское время герцинидами [Винниченко, 1979; Egorov et al., 2021; Yang et al., 2022].

Главным звеном гранитного комплекса Лагман является Алингарский плутон, внедрившийся в метаморфические породы архея-протерозоя и верхнего триаса. Тело плутона неоднородно, вытянуто в СВ направлении согласно с общим направлением осей складок. Такая его структурная позиция свидетельствует о синхронном образовании гранитов и альпийской складчатости [Abdullah et al., 2008; Shroder et al., 2021; Siehl, 2015]. Плутон состоит из нескольких разновидностей магматических пород. По периферии он сложен гранит-аплитами, которые с запада и востока объединены в пояс шириной 35–40 км с тектоническими контактами с вмещающими породами. Центральная часть плутона сложена гранодиоритами с ксенолитами вмещающих метаморфических пород (рис. 5). Фланги, примыкающие к центру плутона, выполнены порфиридовидными гранитами II фазы комплекса Лагман и среднезернистыми двуслюдяными гранитами III фазы комплекса Лагман. Здесь широко развиты участки темных мигматитов и следы метасоматической переработки ксенолитов кристаллических сланцев нижнего протерозоя.

Граниты III фазы пересекают протерозойские кристаллические породы и висячем борту несогласно контактируют со сланцами триасового возраста, то есть представляют собой межформационные инъекции. Для них характерны крупнокристаллические разновидности, представленные жилами в Парунксом и Пачиграмском полях редкометалльных пегматитов (рис. 2). Здесь уместно отметить статью С. М. Бескина, Ю. Б. Марина [Бескин и Марин, 2013] о том, что редкометалльные пегматиты, приуроченные к коллизионным, надвиговым зонам, на самом деле не являются типичными пегматитами как они представлялись А. Е. Ферсманом и последователями, а структурной разновидностью гранитного расплава [Алексеев, 2021; Ферсман и Гинзбург, 1936].

Важно отметить крупные разрывные нарушения, они имеют, в основном, северо-восточное простирание. Крутопадающие глубинные разломы Панджшер, Герируд на левобережье р. Панджшер, Сароби, Кунар в долине р. Кунар – ограничивают Нуристанский срединный массив с трех сторон (рис. 2 и рис. 3ж). Интересны субширотные, иногда северо-западные дислокации в юго-западной части, повторяющие контур разлома Сароби. На космических снимках, кроме того, отчетливо дешифруется система субмеридиональных и север-северо-восточных разломов, протягивающихся параллельно развитым севернее Бадахшанским структурам [Стажило-Алексеев, 2012].

Результаты исследований

Олигоценые гранитоиды комплекса Лагман имеют весьма широкое развитие в зоне Нуристан. Они слагают несколько крупных и множество мелких массивов, развитых среди метаморфических толщ серии Нуристан и верхнетриасовых сланцев.

Массивы комплекса Лагман трехфазные [Mashkoor et al., 2022; Mosazai et al., 2017; Yosufzai, 2020]. Первая фаза представлена диоритами и кварцевыми диоритами, вторая – порфирированными гранитами и гранодиоритами, третья – двуслюдяными и биотитовыми гранитами, аплитовидными и пегматоидными гранитами. Характерной особенностью комплекса Лагман является наличие многочисленных жил редкометалльных пегматитов, пространственно связанных с гранитоидами третьей фазы [Mashkoor

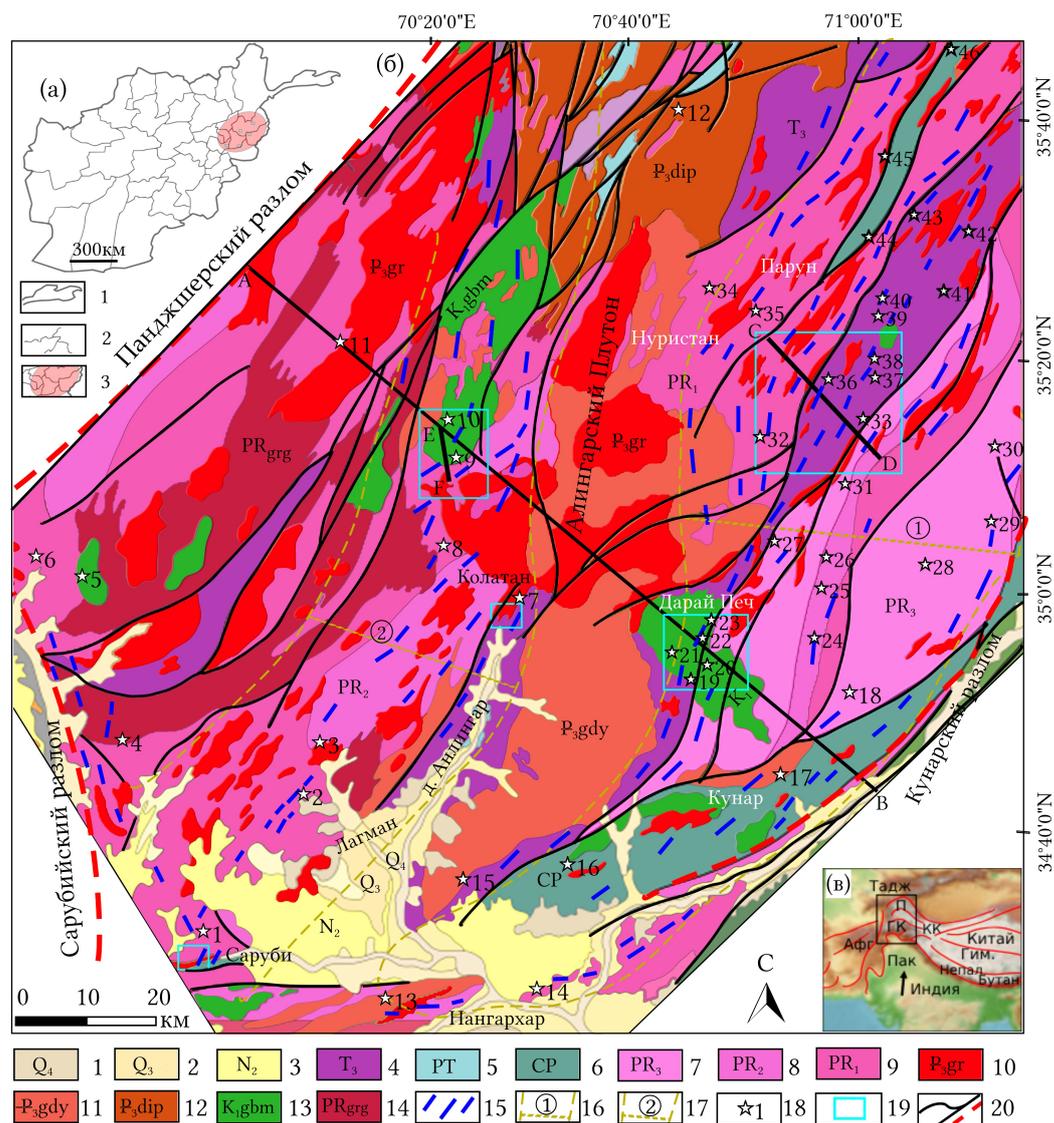


Рис. 2. Геологическая карта размещения редкометалльных пегматитов в тектонической зоне Нуристан: а – Общее положение тектонической зоны Нуристан в Афганистане; 1 – граница страны; 2 – граница провинции; 3 – район исследования; б – геологическая карта. Составлена авторами по материалам Л. Н. Россовского, Ю. И. Нуискова [Rossovskiy and Konovafenko, 1979], Дж. Л. Добрых и Р. Р. Валь [Doeblich et al., 2006], М. Д. Кокера [Cocker, 2011]; в – Местонахождение района исследований в горных массивах Гиндукуш-Гималаи: Тадж – Таджикистан; П – Памирские хребты; ГК – Гиндукушские хребты; КК – Каракорумские хребты; Афг – Афганистан; Пак – Пакистан; Гим – Гималайские хребты.

Рис. 2. (Продолжение) 1. Q₄ – голоцен, аллювий, пески, галечники, конгломераты, алевролиты, мергели и глины; 2. Q₃ – голоцен, поздний плейстоцен, аллювий; 3. N₂ – конгломераты; 4. T₃ – поздний триас, алевролит, песчаник, конгломерат; 5. PT – пермь и триас, вулканические и осадочные породы, известняки; 6. CP – карбон и пермь, песчаник, андезит, базальт; 7. PR₃ – поздний протерозой, биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы и сланцы, кварциты, амфиболиты; 8. PR₂ – средний протерозой, мраморы, гнейсы, сланец, кварцит, амфиболит; 9. PR₁ – ранний протерозой, биотитовый и гранат-биотитовый гнейс и сланец, кварцит, амфиболит; 10–14. интрузивные комплексы; 10–12. комплекс Лагман (Алингарский батолит): 10. P₃g₁ – олигоцен, III фаза, двуслюдяный гранит; 11. P₃g₂ – олигоцен, II фаза, гранодиорит и граносиенит; 12. P₃d₁r – олигоцен, I фаза, диорит и плагиогранит; 13. K₁gbm – ранний мел, Нилаусий комплекс, габбро и монзониты в большем количестве, чем диориты и гранодиориты; 14. PRgng – Панджшерский комплекс: метаграниты и гнейсы; 15. Пегматитовые жилы; 16 – Пегматитовый пояс Нуристан; 17 – Пегматитовый пояс Гиндукуш; 18 – Пегматитовые месторождения: 18.1 – Саруби; 18.2 – Шамакат; 18.3 – Алишанг; 18.4 – Тагаб; 18.5 – Пачаган; 18.6 – Неджраб; 18.7 – Колатан; 18.8 – Кургал; 18.9 – Мави; 18.10 – Нилау-Кулам; 18.11 – Мандул; 18.12 – Манданеша; 18.13 – Татанг; 18.14 – Бехсуд; 18.15 – Чарбаг; 18.16 – Дарай Нур; 18.17 – Чаукай; 18.18 – Бадел; 18.19 – Дурахы; 18.20 – Варадеш; 18.21 – Аваргал; 18.22 – Дигал; 18.23 – Гульсалак; 18.24 – Гарангал; 18.25 – Нангалам; 18.26 – Манугай; 18.27 – Вайгал; 18.28 – Деваз; 18.29 – Шигал; 18.30 – Маред; 18.31 – Бони; 18.32 – Вама; 18.33 – Иншахар; 18.34 – Кантыва; 18.35 – Яригал; 18.36 – Пашки; 18.37 – Цамгал; 18.38 – Друмгал; 18.39 – Пасгуста; 18.40 – Джаманак; 18.41 – Прамгал; 18.42 – Камдеш; 18.43 – Папрук; 18.44 – Вазгал; 18.45 – Пачиграм; 18.46 – Баргиматал; 19 – место геологического разреза и точки отбора проб на территории исследования (рис. 4 и рис. 5); 20 – Крупные и средние разломы.

et al., 2022; Mosazai *et al.*, 2017; Rossovskiy and Chmyrev, 1977]. Редкометалльные пегматиты образуют пегматитовые поля, которые группируются в крупные пояса. С батолитом Алингар связаны Нуристанский и Гиндукушский пегматитовые пояса. Наиболее крупным массивом этого комплекса является Алингарский батолит на рисунке 2 – 10, 11 и 12. Он имеет сильно вытянутую форму, которая протягивается на 250 км с юга на север-северо-восток от р. Кабул до селения Зебак в бассейне р. Пяндж. Ширина его колеблется от 10 до 50 км. Учитывая, что в целом простирание интрузивных тел комплекса Лагман северо-восточное, в основном, согласное с общим простиранием структур зоны Нуристан, следует отметить интересную деталь в ориентировке батолита Алингар. Южная его часть, на протяжении 120 км, имеет практически меридиональную ориентировку и очень сложную конфигурацию контактов с вмещающими породами, совпадая с простиранием зоны Центрально-Бадахшанского разлома [Стажило-Алексеев, 2012; Abdullah *et al.*, 2008; Shroder *et al.*, 2021]. Другая, северная часть массива, на протяжении 130 км, ориентирована на северо-восток 45° (рис. 2), подчиняется направлению тектонического нарушения, разделяющего зоны Нуристан и Южный Бадахшан. Южная часть массива, на наш взгляд, еще раз подчеркивает наличие в Нуристане унаследованных меридиональных магмоконтролирующих структур трансрегионального характера. Они обусловлены, предположительно, простиранием скрытых разломов фундамента, параллельных разлому Бадахшан. Другие крупные массивы этого комплекса – Зебак и Лангар имеют площадь 400 и 500 км² соответственно [Абдулла и др., 1980; Стажило-Алексеев, 2012; Yusufzai, 2020]. Мелкие массивы, площадью 50–60 км² характеризуются линзовидной и штокообразной формами.

По минералогическому составу выделяют три типа литиевых пегматитов: (1) сподуменовые – преобладающие, (2) петалит-сподуменовые, (3) афанитовые сподуменовые дайки Шамакатского пегматитового поля. Полевые наблюдения позволили наметить следующую стадийность в процессе пегматитообразования (рис. 3).

1. Внедрение гранитного расплава в метаморфический комплекс из сланцев и гнейсов с образованием тонкозернистых аплитов кварц-альбитового состава без сподумена.
2. Образование даек аплитов первой стадии с образованием сподумена.

3. Внедрение высококалийвого расплава (без лития) с образованием гибридных альбит-сподуменовых пегматитов. В гибридных телах бесподуменные зоны размещены в корневых частях этих тел.

Сподуменсодержащие жилы являются поздними пегматоидными образованиями, возникшими в процессе собирательной перекристаллизации.

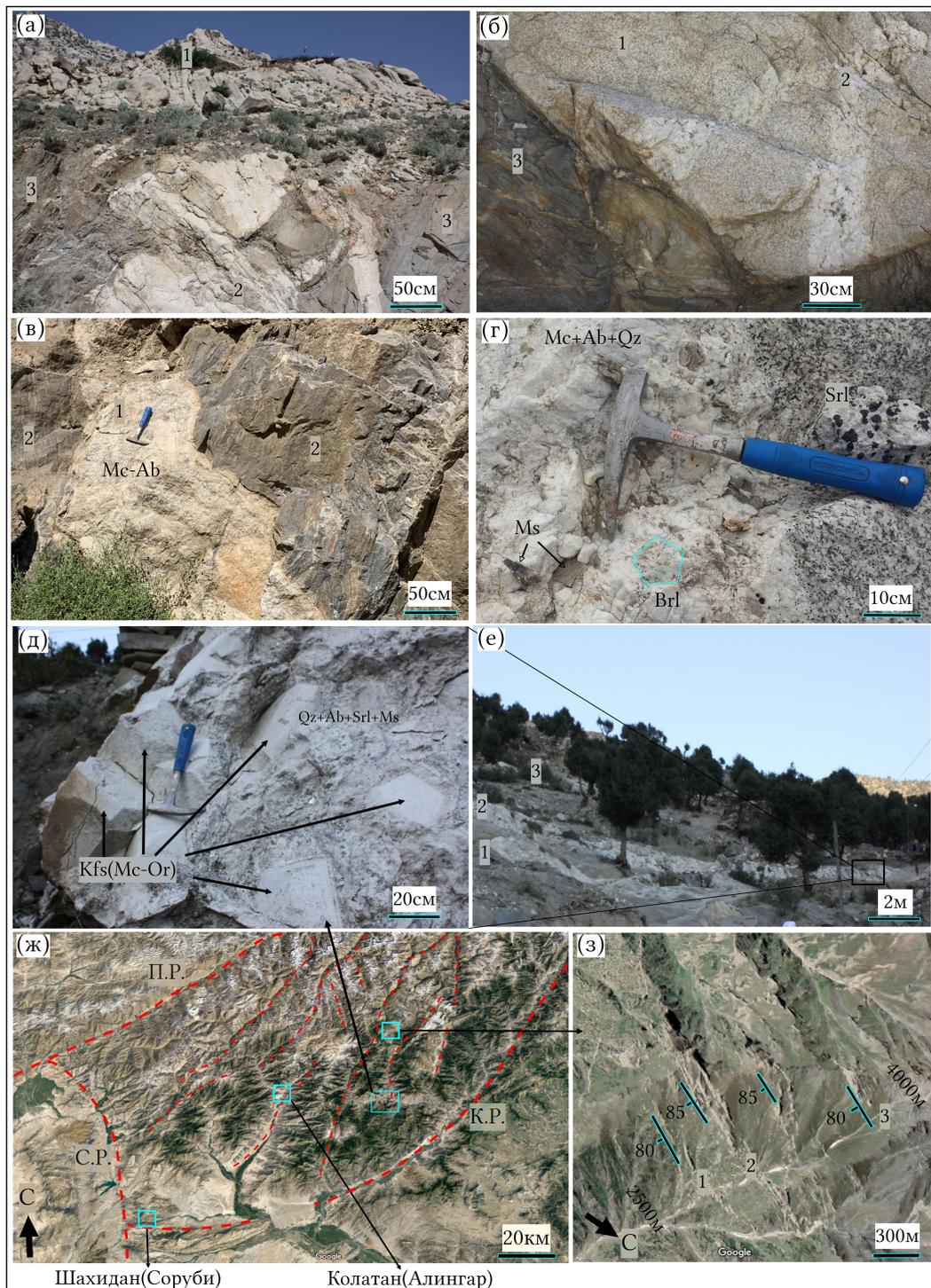


Рис. 3. Структурные взаимоотношения пегматитовых жил и вмещающих пород пегматитовых полей Колатан (а, б, в), Шахидан (г), Дигал (д, е), спутниковый снимок пегматитового поля месторождения Друмгал (з) и спутниковый снимок зоны Нуристана (фото А. Юсуфзай).

Рис. 3. (Продолжение) а – Куполовидный гранит III фазы комплекса Лагман олигоценового возраста (1) и безрудный пегматит (2) внедрен в сланцы поздне триасового возраста (3) и имеет с ними резкие интрузивные контакты; б – граниты III фазы комплекса Лагман олигоценового возраста (1), микроклин-альбитовые пегматиты (2) и вмещающие породы черносланцевой формации, кварц-хлорит-мусковитовые и кварц-биотит-гранат-ставролитовые сланцы поздне триасового возраста (3); в – микроклин-альбитовые пегматиты (1), расположенные в гнейсах поздне протерозойского возраста (2) имеют с ними резкие интрузивные контакты; г – резкий контакт микроклин-альбит-шерл-мусковитовых пегматитов и биотитовых гранитов III фазы комплекса Лагман, в нем кристалл берилла с гексагональным сечением; д – крупнокристаллический калиевый полевой шпат (микроклин-олигоклаз) в пегматите поля Дигал; е – пегматитовое поле Дигал, где обнажаются гранодиориты комплекса Нилау и в них пегматиты с горизонтальным залеганием – олигоклаз – микроклин-шерл-биотит-мусковитовые (1), альбит-микроклин-сподуменовые (2), сподумен-альбит-микроклиновые (3); ж – спутниковый снимок редкометалльных пегматитов зоны Нуристан, где крутопадающие глубинные разломы Панджшер-Герируд (П.Р.) на левобережье р. Панджшер, Сароби (С.Р.), Кунар (К.Р.) в долине р. Кунар – ограничивают Нуристанский срединный массив с трех сторон; з – крупные крутопадающие плитообразные тела микроклиновых пегматитов (1), альбитовых пегматитов (2) и сподуменовых пегматитов (3) крупного месторождения Друмгал в пегматитовом поле Парун.

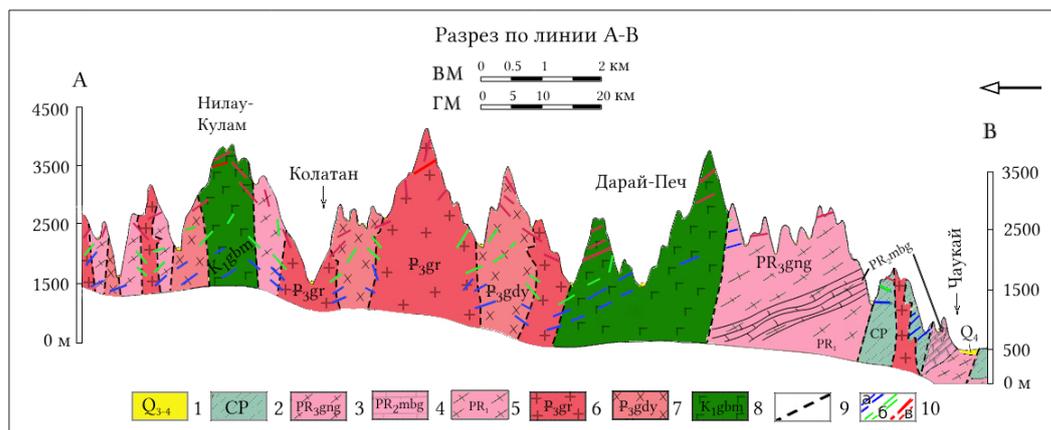


Рис. 4. Геологический разрез района развития редкометалльных пегматитов в тектонической зоне Нуристана. Составлен авторами по материалам Л. Н. Россовского [Rossovskiy and Chmyrev, 1977; Rossovskiy and Konovafenko, 1979], Дж. Л. Добрых и Р. Р. Валь [Doeblich et al., 2006], М. Д. Кокер [Cocker, 2011; Peters et al., 2007], А. М. Мусазай и соавторов [Mosazai et al., 2017]. Линия рельефа в разрезе получена в программе «Google Earth». 1. Q₃₋₄ – голоцен, аллювий, пески, галечники, конгломераты, алевролиты, мергели и глины; 2. СР – карбон – пермь, песчаник, алевролит + андезит, базальт; 3. PR_{3gn} – поздний протерозой, биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы и сланцы, кварциты, амфиболиты; 4. PR_{2mbg} – средний протерозой, свита Вайгал, мраморы, биотитовые и гранат-биотит-ставролитовые гнейсы и сланцы; 5. PR₁ – ранний протерозой, биотит-амфибол-гранат-силлиманитовые, пироксен-амфиболовые гнейсы и сланцы, кварциты, амфиболиты, мигматиты; 6. P_{3gr} – олигоцен, гранит III фазы; 7. P_{3gdy} – олигоцен, гранодиорит и граносиенит II фазы; 8. K_{1gbm} – мел, пегматиты, габбро + монзониты в большем количестве, чем диориты и гранодиориты; 9. Разломы и тектонические границы; 10. Пегматитовые жилы: 10.а – шпировые микроклиновые, шерл-мусковитовые, микроклиновые, олигоклаз-микроклин-биотит-мусковитовые (безрудные); 10.б – альбитизированные микроклиновые и альбитовые; 10.в – сподумен-микроклин-альбитовые и сподумен-микроклин-клевеландитовые.

В результате дифференциации остаточных расплавов, как это описано А. Е. Ферсманом [Ферсман и Гинзбург, 1936; Deng et al., 2022], на заключительном этапе происходило формирование грубо- и гигантокристаллических зональных пегматитовых тел.

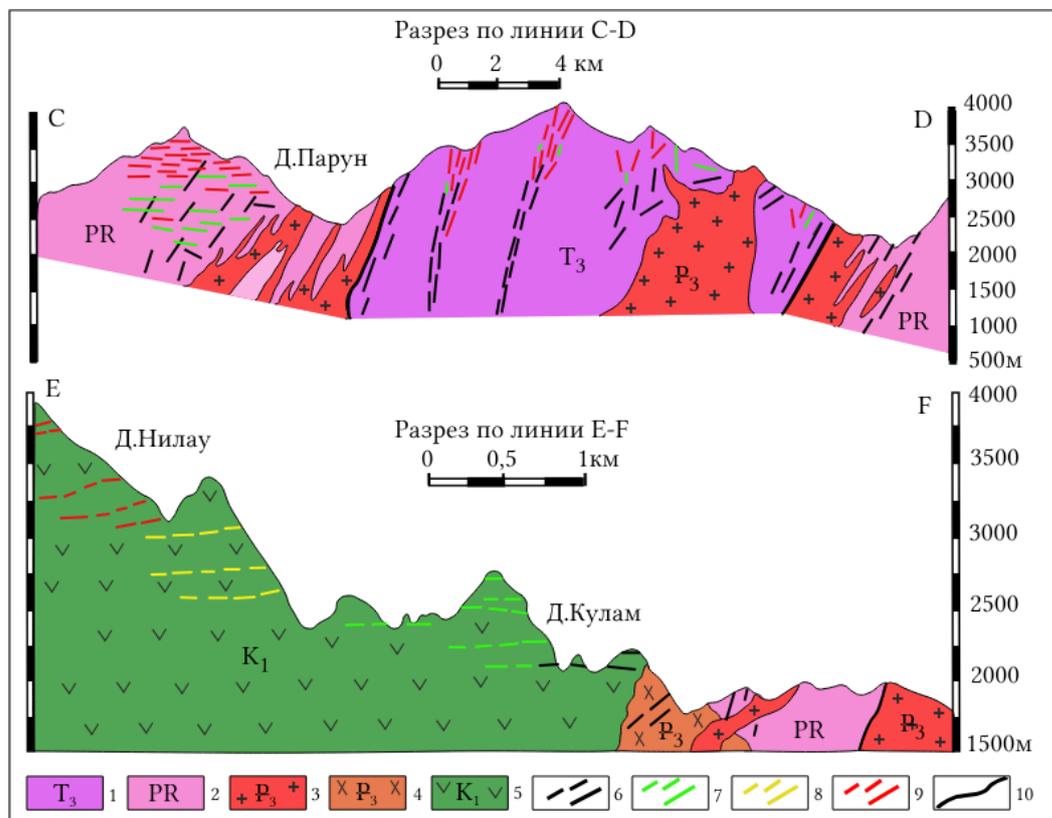


Рис. 5. Геологические разрезы месторождений редкометалльных пегматитов долины Парун (линия С-D); долин Нилау и Кулам (линия Е-F). Составлен авторами по материалам Л. Н. Россовского [Rossovskiy and Chmyrev, 1977; Rossovskiy and Konovafenko, 1979], Дж. Л. Добрых и Р. Р. Валь [Doeblich et al., 2006], М. Д. Кокера [Cocker, 2011; Peters et al., 2007], А. М. Мусазаи и соавторов [Mosazai et al., 2017]. 1. T₃ – поздний триас, сланцы, алевролиты, песчаники и конгломераты; 2. PR₃ – протерозой, гнейсы, сланцы, кварциты, амфиболиты и мраморы; 3, 4 и 5. интрузивные комплексы: 3. P₃gr – олигоцен, двуслюдяные граниты, III-фаза комплекса Лагман; 4. P₃gdy – олигоцен, гранодиориты и граносиенит, II-фаза комплекса Лагман; 5. K₁ – мел, габбро, монцитоны в большем количестве, чем диориты и гранодиориты, комплекса Нилау; 6, 7, 8 и 9. пегматитовые жилы: 6. шпировые микроклиновые, шерл-мусковитовые, олигоклаз-микроклин-биотит-мусковитовые с бериллом; 7. альбитизированные микроклиновые и альбитовые с бериллом, кунцитом и полихромными турмалинами; 8. альбитовые пегматиты со сподуменом, кунцитом и полихромными турмалинами; 9. лепидолит-сподумен-клевеландитовые пегматиты с полихромными турмалинами, кунцитом, поллуцитом, танталит-колумбитом и воджинитом; 10. разломы и тектонические границы.

Зональность внутреннего строения жил (рис.6) напрямую связана с их протяженностью и мощностью, физико-механическими характеристиками вмещающих пород и расположением жил во вмещающих породах [Мусазаи, 1988; Mosazai et al., 2018, 2017].

В пегматитовых полях: Гульсалакское, Колатанское, Парунское и Шахиданское, распространены пегматитовые тела следующих минеральных составов: олигоклаз – микроклин-биотит-мусковитовые (безрудные); шерлово-мусковит – микроклиновые с редкими кристаллами берилла; слабо альбитизированные микроклиновые шерлово-мусковитовые с бериллом и альбитовые со сподуменом, полихромным турмалином

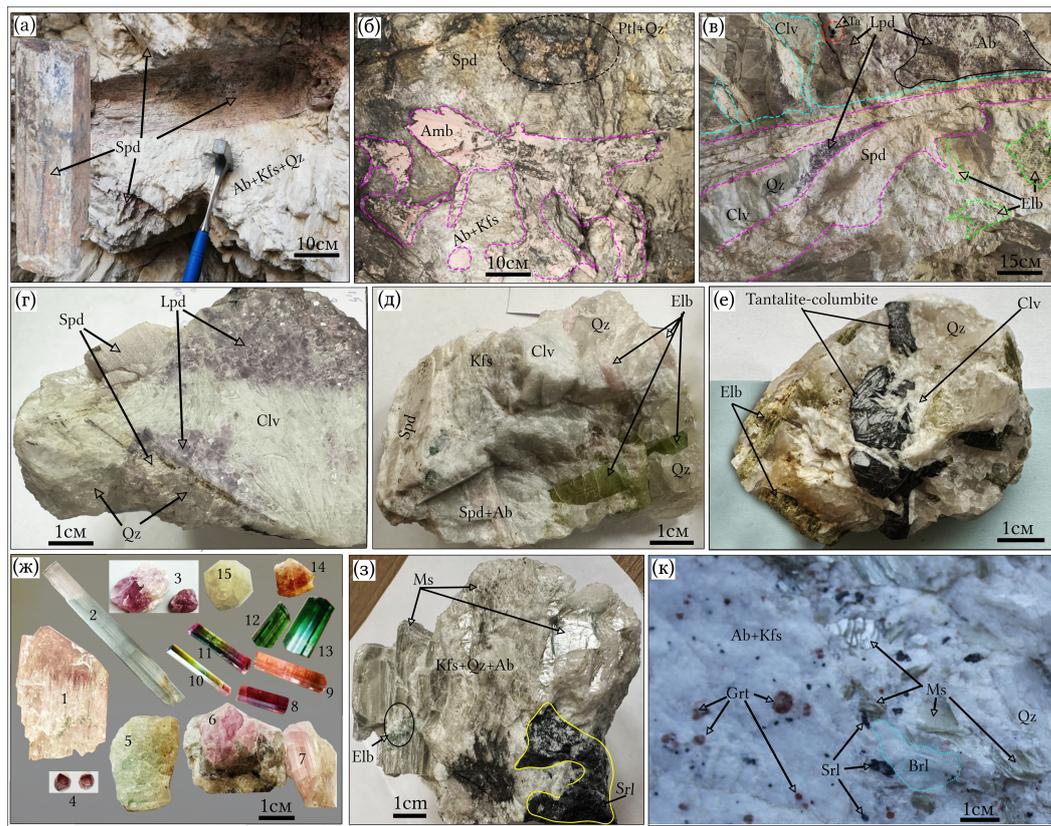


Рис. 6. Структурно-текстурные особенности и полезные ископаемые пегматитов гранитоидного комплекса Лагман (фото А. Юсуфзай). Месторождения: Дигальское (а, к, ж5, 8–13); Колатанское (б, в, д, е, ж6, 7, 14, 15); Гульсалакское (з); Парунское (г, ж1–4). Ювелирные качества кристаллов в Миароловых пегматитах гранитоидного комплекса Лагман (ж1–15): 1–3 – сподумен; 1 – кунцит двухцветный; 2 – прозрачный кунцит; 3 – фиолетовый кунцит; 4 – гранат; 5 – берилл; 6–14 – цветные турмалины; 6–9 – рубеллит; 10–11 – эльбаит; 12–13 – верделит; 14 – арбузный турмалин; 15 – поллуцит. Сокращенные обозначения минералов: Ab – альбит, Amb – амблигонит, Clv – клевеландит, Elb – эльбаит, Grt – гранат, Pl – плагиоклаз, Kfs – калиевый палеый шпат, Ms – мусковит, Ptl – петалит, Qz – кварц, Spd – сподумен, Srl – шерл, Та – танталит, Тур – турмалин, Lpd – лепидолит.

и кунцитом; сподумен-микроклин-альбитовые и сподумен-альбитовые с полихромным турмалином, кунцитом и поллуцитом; сподумен-микроклин-клевеландитовые; лепидолит-сподумен-альбитовые с полихромным турмалином, кунцитом, поллуцитом, танталитом и колумбитом.

Обсуждение результатов

Генезис литиевых пегматитов и их взаимосвязь с гранитными массивами анализировался и обсуждался во многих публикациях, в том числе в работах Д. Б. Стюарта [Stewart, 1978], Я. Сингх и соавторов [Singh et al., 1991], Д. Лондона, Д. М. Берта [London and Burt, 1982].

В частности, Д. Б. Стюарт одним из первых предположил, что «обогащенная литием магма образовалась в результате парциального плавления насыщенных литием метаморфизованных осадочных пород при температурах ниже минимальных температур существования водонасыщенного гранитного расплава».

В недавней работе К. Лота и соавторов [Koopmans et al., 2023] авторы заявили, что «расплавы метаседиментационных источников не могли повысить содержания лития в итоговом пегматите». Они считают, что «если кристаллизация гранитного

расплава повторно претерпела плавление и перекристаллизацию, то этот гранит может содержать промышленную концентрацию лития».

В результате исследования пегматитов в Австрийских Альпах, в сходных условиях с рассматриваемыми нами пегматитами Лагман в Афганистане, в марте 2023 года Т. Кнолл и соавторы [Knoll et al., 2023] при полевых наблюдениях нашли доказательства генетической связи между простыми пегматитами, лейкогранитами, эволюционировавшимися пегматитом и альбит-сподуменовым пегматитом с одной стороны и «субсолидным» метаседиментационным расплавом, с другой стороны.

Поэтому наблюдаемая эволюция гранитного расплава в составах пегматитовых тел Афганистана, по мере их удаления от гранитоидного комплекса Лагман, согласуется и подтверждает гипотезу обогащения литием заключительных фаз пегматитообразования, высказанную в работе Т. Кнолл и соавторов в 2023 году в итоге исследования образцов из молодых Альпийских пегматитов в Австрийских Альпах.

В соответствии с современными концепциями тектонического развития региона редкометалльные пегматиты провинции Нуристан можно отнести к тектоническому типу, сформированному в надсубдукционной геодинамической обстановке в ходе формирования линейных складчатых структур северо-восточного простирания. То есть характерной коллизионным надвиговым зонам по С. М. Бескину и Ю. Б. Марину [Бескин и Марин, 2019] и, в соответствии с концепцией А. Зиль [Siehl, 2015], А. Шарек и соавторов [Abdullah et al., 2008], а также К. Ф. Стажило-Алексеева [Стажило-Алексеев, 2012], приуроченными к коллизионным подвиговым зонам, возникшим при тектонических напряжениях юго-восточного вектора в альпийскую эпоху.

По нашему мнению, тектонический аспект генезиса литиевых пегматитов Афганистана обусловлен коллизионными движениями крупных блоков земной коры, так как результаты наших полевых наблюдений свидетельствуют о дислокациях с образованием линейных складчатых структур ортогональных юго-восточному вектору надвиговых деформаций. В этой связи залегание редкометалльных пегматитов в тектонической зоне Нуристан контролируется ортогональным – северо-восточным простиранием рудо-контролирующих коллизионных складчатых и разрывных нарушений.

Площадь распространения пегматитовых полей охватывает область распространения разновозрастных вмещающих пород, вовлеченных во время палеогеновых тектономагматических событий в процессе пегматитообразования: от протерозойских на юго-востоке до триасовых на северо-западе провинции с отчетливым рисунком надвигов молодых толщ с северо-запада на юго-восток на древние протерозойские комплексы.

Такой вывод подтверждает наличие пегматитовых тел аплитового облика со структурными характеристиками близкими к структурам гранитов.

Не исключено, что пегматиты провинции Нуристан не являются продуктами остаточного пегматитового расплава, а представляют собой выплавки гранитного расплава с редкометалльной специализацией. В этой связи является логичным заключить, что редкометалльные пегматиты провинции Нуристан имеют генетическое родство с гранитами третьей фазы гранитоидного комплекса Лагман. Так как в пределах пегматитовых полей Нилау-Кулам и Алингар граниты третьей фазы переходят в шпиро-пегматиты, а затем в шпиро-секущие и секущие пегматитовые тела, уходящие вверх во вмещающие породы, перекрывающие гранитные массивы (рис.2).

Структурное расположение пегматитовых жил в различных полях определяется в меньшей степени минеральным составом вмещающей породы, и в большей степени тектоническими структурами, либо и тем, и другим. Морфология пегматитов характеризуется следующими разновидностями: 1) крутопадающими жилами, 2) пологими или пологопадающими жилами и 3) небольшими внутриформационными линзовидными телами. Пологопадающие пегматитовые жилы, характерные для полей Нилау, Кулам, Дарай Печ и других, развиты в основном в габбровых и диоритовых телах комплекса Нилау (рис. 4 и 5). Некоторые пологопадающие и пересекающие их жилы встречаются также в протерозойских гнейсах в пегматитовом поле Парун. Крутопадающие пегматитовые жилы в пегматитовом поле Парун встречаются в поздне триасовых сланцах

и образуют линейно-вытянутые зоны, которые соответствуют сланцеватости и складчатости вмещающих пород (рис. 4 и 5). Крутопадающие жилы образуют большинство месторождений и проявлений лития. Полого-плоскозалегающие пегматиты содержат повышенные концентрации бериллия, тантала, драгоценных камней и пьезокварца.

Как уже отмечалось выше, в пегматитах развиты комплексные руды – бериллия, лития, ниобия, тантала, цезия, олова и минералы пьезооптического кварца, кунцита, зеленого прозрачного турмалина, касситерита, манганотанталита.

Судя по большой мощности и вещественному составу метаморфитов архея и нижнего протерозоя, этот район представлял в докембрии бассейновую зону накопления осадков в режиме глубокого погружения, прошедших затем стадию регионального метаморфизма. Последующая орогения привела к формированию здесь складчатых структур, к разломной тектонике и сопровождающему контрастному магматизму ультраосновного и кислого составов, типичному для бассейновых окраин.

С палеозоя до позднего триаса, когда накопились мощные толщи терригенных осадков, рассматриваемый регион провинции Нуристан представляет собой континентальную сушу.

В позднекембрийскую эпоху тектоногенеза произошло оживление дизъюнктивных процессов, сопровождавшееся внедрением габбро и диоритов комплекса Нилау и в альпийскую эпоху – гранитоидов Лагман. Меловые отложения откладывались в локальных понижениях рельефа.

Заключение

Пегматитовые жилы образуют две группы, отличающиеся по характеру и параметрам залегания жильных тел: 1) крутопадающие жилы, залегающие, в основном, среди филлитовых сланцев, 2) пологопадающие жилы. Первые имеют симметричную зональную структуру, где в краевой зоне проявлены относительно мелко- и среднезернистые минералы, а в ядре тела они постепенно сменяются среднезернистыми и крупнозернистыми. Такие жилы редко встречаются среди габбродиоритов комплекса Нилау.

Пологопадающие жилы имеют асимметрично зональную структуру – в лежащем боку залегают относительно мелко- и среднезернистые породы, а в висячем боку они постепенно сменяются крупнозернистыми. Основная масса пологозалегающих пегматитов располагается среди лабрадоритов комплекса Нилау. Здесь известны месторождения самоцветов Дарай Печ и Нилау Кулам. Вторая разновидность пегматитов редко встречается в гнейсах и очень редко в сланцах.

Особый интерес представляет пространственное положение крупных габброидных тел Дарай-Печ и Нилау-Кулам и распределение пегматитовых полей. Эти тела и крупные изометричные тела гранитов третьей фазы лагманского комплекса, залегающие в центральной части Алингарского плутона, приурочены к глубинному разлому северо-западного простирания. Этот разлом параллелен крупному разлому, ограничивающему Кабульскую зону на северо-востоке, и является рудоконтролирующим по размещению пегматитовых тел.

Установлена закономерность размещения пегматитов в зависимости от фаз внедрения гранитных массивов и их внутренняя зональность в пределах отдельных пегматитовых тел. Тесное родство с третьей фазой гранитоидного комплекса Лагман дополнительно подтверждает их генетическое единство и возможность формирования из специализированного по редким металлам – Li и др., гранитного расплава. Граниты третьей фазы внедрения могут быть использованы в качестве поискового признака для обнаружения новых редкометалльных пегматитов в регионе.

По главным породообразующим минералам и местам проявления в зоне Нуристана выделяются следующие основные типы пегматитов: 1) олигоклаз–микроклиновые с биотитом, мусковитом, шерлом и редким бериллом (безрудные); 2) шерлово–мусковит–микроклиновые с рудообразующим бериллом; 3) слабо альбитизированные микроклиновые с крупнокристаллическим бериллом; 4) альбитовые пегматиты со сподуменом,

полихромным турмалином, кунцитом, поллуцитом и танталит–колумбитом; 5) сподумен–микроклин–альбитовые и сподумен–альбитовые с полихромным турмалином, кунцитом и поллуцитом образуют самые крупные жилы и продуктивные в отношении редких металлов; 6) сподумен–лепидолит–клевеландитовые с касситеритом, поллуцитом, танталитом–колумбитом и ювелирными камнями. Жилы трех последних типов пегматитов занимают наиболее высокое гипсометрическое положение по сравнению с пегматитами трех первых типов. По мере удаления от гранитов и перехода от нижних жил к верхним пегматиты существенно микроклинового состава последовательно сменяются альбитовыми, сподумен–альбитовыми и лепидолит–сподумен–клевеландитовыми. Полное отсутствие биотита и повышенное содержание мусковита и клевеландита в пегматитах могут служить индикаторами поисков драгоценных камней.

Закономерность размещения пегматитовых жил в ранге месторождений, рудных районов, узлов в пегматитовом поясе Нуристана обусловлена не процессом дифференциации остаточного магматического расплава, а дифференциацией исходного гранитного расплава с трендом концентрации редкометалльной минерализации. При этом формировались различные по степени раскристаллизации минералогические типы гранитоидов, заполнившие уже существовавшие трещинные пространства зон разломов во вмещающих породах.

Благодарности. Авторы выражают благодарность А. М. Мусазаю, Н. Сахаку, Х. Вайзи и А. Б. Канету за помощь в проведении полевых работ и отборе проб. Благодарим А. В. Козлова и С. Г. Скублова за консультации и помощь в аналитических исследованиях. Работа выполнена за счет собственных средств авторов, без привлечения внешнего финансирования.

Список литературы

- Абдулла Ш., Чмырёв В. М., Дронов В. И. Геология и полезные ископаемые Афганистана, 1 - Геология. — Москва : Недра, 1980.
- Акбарпуран Х. С., Гульбин Ю. Л., Сироткин А. Н. и др. Эволюция состава акцессорных минералов REE и Ti в метаморфических сланцах серии Атомфьелла, Западный Нью Фрисланд // Записки Российского Минералогического Общества. — 2020. — Т. 149, № 5. — С. 1–28.
- Алексеев В. И. Тектоно-магматические факторы локализации литий-фтористых гранитов Востока России // Записки Горного Института. — 2021. — Т. 248. — С. 173–179. — DOI: [10.31897/PMI.2021.2.1](https://doi.org/10.31897/PMI.2021.2.1).
- Алексеев В. И. Типовая интрузивная серия Дальневосточного пояса литий-фтористых гранитов и ее рудоносность // Записки Горного института. — 2022. — Т. 255, № 3. — С. 377–392. — DOI: [10.31897/PMI.2022.21](https://doi.org/10.31897/PMI.2022.21).
- Алексеев Р. С., Ребецкий Ю. Л. Модель эволюции литосферы гималайско-тибетского орогена // Вестник Краунц Науки о Земле. — 2021. — Т. 4, № 52. — С. 89–107. — DOI: [10.31431/1816-5524-2021-4-52-89-107](https://doi.org/10.31431/1816-5524-2021-4-52-89-107).
- Бескин С. М., Марин Ю. Б. Геодинамические типы редкометалльного гранитового магматизма и ассоциирующие с ними месторождения // Записки Горного института. — 2013. — № 200. — С. 155–162.
- Бескин С. М., Марин Ю. Б. Особенности гранитовых систем с редкометалльными пегматитами // Записки Российского Минералогического Общества. — 2019. — Т. 148, № 4. — С. 1–16. — DOI: [10.30695/zrmo/2019.1484.00](https://doi.org/10.30695/zrmo/2019.1484.00).
- Буртман В. С. Геодинамика Памир-Пенджабского синтаксиса // Геотектоника. — 2013. — Т. 2013, № 1. — С. 36–58. — DOI: [10.7868/s0016853x13010025](https://doi.org/10.7868/s0016853x13010025).
- Винниченко Г. П. Тектоника центрального памира. — Душанбе : Дониш, 1979.
- Гаврильчик А. К., Скублов С. Г., Котова Е. Л. Особенности редкоэлементного состава берилла из Уральских Изумрудных Копей // Минералогия. — 2021. — С. 32–47. — DOI: [10.35597/2313-545x-2021-7-3-2](https://doi.org/10.35597/2313-545x-2021-7-3-2).
- Гинзбург А. И., Тимофеев И. Н., Фельдман Л. Г. Основы геологии гранитных пегматитов. — Москва : Недра, 1979.
- Загорский В. Е., Владимиров А. Г., Макагон В. М. и др. Крупные поля сподуменовых пегматитов в обстановках рифтогенеза и постколлизийных сдвигово-раздвиговых деформаций континентальной литосферы // Геология и Геофизика. — 2014. — Т. 2. — С. 303–322.
- Лабунцов А. Н. Геолого-минералогические исследования на Западном Памире в провинции Бадахшан, Афганистан в 1928 г. // Памирская экспедиция. 1928 г. Труды экспедиции. Выпуск IV. Минералогия. — Ленинград : Изд-во АН СССР, 1930.

- Левашова Е. В., Скублов С. Г., Хамдард Н. и др. Геохимия циркона из пегматитоносных лейкогранитов комплекса Лагман, провинция Нуристан, Афганистан // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2024. — С. 1–13. — DOI: [10.2205/2024ES000916](https://doi.org/10.2205/2024ES000916).
- Морозова Л. Н. Колмозерское литиевое месторождение редкометалльных пегматитов: новые данные по редкоэлементному составу (Кольский полуостров) // *Литосфера*. — 2018. — Т. 18, № 1. — С. 82–98. — DOI: [10.24930/1681-9004-2018-18-1-082-098](https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-1-082-098).
- Морозова Л. Н., Серов П. А., Кунаккузин Е. Л. и др. Кольский редкометалльный пегматитовый пояс: основные черты геологического строения // *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. — 2020. — Т. 17. — С. 374–378. — DOI: [10.31241/FNS.2020.17.071](https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.071).
- Мусазай А. М. Минеральные типы, зональность и генетические особенности кайнозойских редкометалльных пегматитов Афганского пегматитового пояса. Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. — Москва : МГУ, 1988.
- Огородников В. Н., Поленов Ю. А., Кисин А. Ю. и др. Гранитные пегматиты и пегматоиды Урала. — Екатеринбург : УрО РАН, 2020.
- Ребецкий Ю. Л., Алексеев Р. С. Поле Современных Тектонических Напряжений Средней и Юго-Восточной Азии // *Геодинамика и Тектонофизика*. — 2014. — Т. 5, № 1. — С. 257–290. — DOI: [10.5800/GT-2014-5-1-0127](https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0127).
- Россовский Л. Н., Нуйсков Ю. И., Чмырев В. М. и др. Редкометалльные пегматиты Афганистана (Отчет о результатах поисковых работ, проведенных в 1971-1973 гг.) — Кабул : СССР: «ТЕХНОЭКСПОРТ», республика Афганистан: Министерство горных дел и промышленности, департамент по поискам и разведке полезных ископаемых, 1974.
- Руднев С. Н., Бабин А., Пономарчук А. и др. Состав и возрастные рубежи формирования гранитоидов западного Саяна // *Литосфера*. — 2009. — № 1. — С. 23–46.
- Сахак Н. Формационная принадлежность геолого-промышленных типов, руд и металлогенической значения кайнозойских пегматитов Афганистана: Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. — Москва : МГУ, 1988.
- Симонов В. А. Физико-химические параметры минералообразующих процессов в пегматитах Ильменогорского щелочного комплекса (Южный Урал) и Алтае-Саянской области (Южная Сибирь) // *Минералогия*. — 2020. — С. 100–111. — DOI: [10.35597/2313-545x-2020-6-2-7](https://doi.org/10.35597/2313-545x-2020-6-2-7).
- Славин В. И. Тектоника Афганистана. — Москва : Недра, 1976.
- Славин В. И., Мирзад С. Х. Тектоническое районирование Афганистана // *Советская Геология*. — 1963. — Т. 4. — С. 68–81.
- Солодов Н. А. Внутреннее строение и геохимия редкометалльных гранитных пегматитов. — Москва : Изд-во АН СССР, 1962.
- Стажило-Алексеев К. Ф. Магматизм и эндогенная металлогения Афганистана. — Москва : Зарубежгеология, 2012.
- Ткачев А. В., Рундквист Д. В., Вишневецкая Н. А. Особенности суперконтинентальных циклов в металлогении тантала // *Доклады Академии наук*. — 2019. — Т. 486, № 1. — С. 69–73. — DOI: [10.31857/S0869-5652486169-73](https://doi.org/10.31857/S0869-5652486169-73).
- Трифонов В. Г., Соколов С. Ю., Бачманов Д. М. и др. Неотектоника и строение верхней мантии Центральной Азии // *Геотектоника*. — 2021. — № 3. — С. 31–59. — DOI: [10.31857/s0016853x21030085](https://doi.org/10.31857/s0016853x21030085).
- Ферсман А. Е., Гинзбург А. И. Пегматиты СССР. Том 1. — Москва-Ленинград : Издательство Академии наук СССР, 1936.
- Ярмолюк В. В., Кузьмин М. И., Воронцов А. А. Конвергентные границы западно-тихоокеанского типа и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // *Геология и Геофизика*. — 2013. — Т. 54, № 12. — С. 1831–1850.
- Abdullah S., Chmyriov V. M., Dronov V. *Geology and mineral resources of Afghanistan*. 2nd ed. — London : British Geological Survey, 2008.
- Bibienne T., Magnan J.-F., Rupp A., et al. From Mine to Mind and Mobiles: Society's Increasing Dependence on Lithium // *Elements*. — 2020. — Vol. 16, no. 4. — P. 265–270. — DOI: [10.2138/gselements.16.4.265](https://doi.org/10.2138/gselements.16.4.265).
- Cardoso-Fernandes J., Rodrigues C., Lima A., et al. Spectrometry Analysis Techniques for LCT Pegmatite Halo Identification: The Role of European Projects // *IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. — IEEE, 2022. — P. 6436–6439. — DOI: [10.1109/IGARSS46834.2022.9883663](https://doi.org/10.1109/IGARSS46834.2022.9883663).
- Černý P., Ercit T. S. The classification of granitic pegmatites revisited // *The Canadian Mineralogist*. — 2005. — Vol. 43. — P. 2005–2026.
- Chen L., Zhang N., Zhao T., et al. Lithium-Bearing Pegmatite Identification, Based on Spectral Analysis and Machine Learning: A Case Study of the Dahongliutan Area, NW China // *Remote Sensing*. — 2023. — Vol. 15, no. 2. — P. 493. — DOI: [10.3390/rs15020493](https://doi.org/10.3390/rs15020493).

- Cocker M. D. Chapter 24A. Summary for the Mineral Information Package for the Nuristan Rare-Metal Pegmatite Area of Interest // Summaries of Important Areas for Mineral Investment and Production Opportunities of Nonfuel Minerals in Afghanistan. — U.S. Geological Survey, 2011. — P. 1630–1653.
- Deng J., Li J., Zhang D., et al. Origin of pegmatitic melts from granitic magmas in the formation of the Jiajika lithium deposit in the eastern Tibetan Plateau // *Journal of Asian Earth Sciences*. — 2022. — Vol. 229. — P. 105147. — DOI: [10.1016/j.jseaes.2022.105147](https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2022.105147).
- Doebrich J. L., Wahl R. R., Chirico P. G., et al. Geologic and mineral resource map of Afghanistan. Scale 1 : 850,000. — U. S. Geological Survey, 2006.
- Egorov A. S., Prischepa O. M., Nefedov Y. V., et al. Deep Structure, Tectonics and Petroleum Potential of the Western Sector of the Russian Arctic // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2021. — Vol. 9, no. 3. — P. 258. — DOI: [10.3390/jmse9030258](https://doi.org/10.3390/jmse9030258).
- Gavrillchik A. K., Skublov S. G., Kotova E. L. Trace Element Composition of Beryl From the Sherlovaya Gora Deposit, Southeastern Transbaikal Region, Russia // *Geology of Ore Deposits*. — 2022. — Vol. 64, no. 7. — P. 442–451. — DOI: [10.1134/S1075701522070054](https://doi.org/10.1134/S1075701522070054).
- Ghasemi Siani M., Mehrabi B., Bayat S., et al. Geochronology, geochemistry and mineral chemistry of Malayer-Boroujerd-Shazand pegmatite dikes, Sanandaj-Sirjan zone, NW Iran // *International Journal of Earth Sciences*. — 2021. — Vol. 110, no. 4. — P. 1139–1167. — DOI: [10.1007/s00531-021-02009-9](https://doi.org/10.1007/s00531-021-02009-9).
- Gourcerol B., Gloaguen E., Melleton J., et al. Re-assessing the European lithium resource potential - A review of hard-rock resources and metallogeny // *Ore Geology Reviews*. — 2019. — Vol. 109. — P. 494–519. — DOI: [10.1016/j.oregeorev.2019.04.015](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.015).
- Gvozdenko T. A., Baksheev I. A., Khanin D. A., et al. Iron-bearing to iron-rich tourmalines from granitic pegmatites of the Murzinka pluton, Central Urals, Russia // *Mineralogical Magazine*. — 2022. — Vol. 86, no. 6. — P. 948–965. — DOI: [10.1180/mgm.2022.104](https://doi.org/10.1180/mgm.2022.104).
- Hanson S. L. A Tectonic Evaluation of Pegmatite Parent Granites // *The Canadian Mineralogist*. — 2016. — Vol. 54, no. 4. — P. 917–933. — DOI: [10.3749/canmin.1600010](https://doi.org/10.3749/canmin.1600010).
- Hayden H. H. The geology of northern Afghanistan. — Calcutta, India : Off. of the Geol. Survey of India, 1911.
- Jonsson E. Pegmatite-hosted lithium mineralisation in Sweden: an overview // *Lithium 200 years*. Mineralogical Society of Sweden. — Mineralogical Society of Sweden, 2018. — P. 12–15.
- Kavanagh L., Keohane J., Garcia Cabellos G., et al. Global Lithium Sources-Industrial Use and Future in the Electric Vehicle Industry: A Review // *Resources*. — 2018. — Vol. 7, no. 3. — P. 57. — DOI: [10.3390/resources7030057](https://doi.org/10.3390/resources7030057).
- Knoll T., Huet B., Schuster R., et al. Lithium pegmatite of anatectic origin - A case study from the Austroalpine Unit Pegmatite Province (Eastern European Alps): Geological data and geochemical modeling // *Ore Geology Reviews*. — 2023. — Vol. 154. — P. 105298. — DOI: [10.1016/j.oregeorev.2023.105298](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105298).
- Koopmans L., Martins T., Linnen R., et al. The formation of lithium-rich pegmatites through multi-stage melting // *Geology*. — 2023. — Vol. 52, no. 1. — P. 7–11. — DOI: [10.1130/G51633.1](https://doi.org/10.1130/G51633.1).
- Kuznetsova L. G., Shokalsky S. P., Sergeev S. A., et al. Age and composition of the early paleozoic magmatic associations and related rare-element pegmatites in the south-eastern part of the Sangilen block, Tuva-Mongolian massif // *Geodynamics & Tectonophysics*. — 2021. — Vol. 12, no. 2. — P. 261–286. — DOI: [10.5800/GT-2021-12-2-0524](https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0524).
- Liu T., Wang H., Tian Sh., et al. Genesis of the Jiajika superlarge lithium deposit, Sichuan, China: constraints from He-Ar-H-O isotopes // *Acta Geochimica*. — 2023. — Vol. 42, no. 3. — P. 517–534. — DOI: [10.1007/s11631-023-00593-y](https://doi.org/10.1007/s11631-023-00593-y).
- London D., Burt D. M. Chemical models for lithium aluminosilicate stabilities in pegmatites and granites // *American Mineralogist*. — 1982. — Vol. 67, no. 5/6. — P. 494–509.
- Machevariani M. M., Alekseenko A. V., Bech J. Complex Characteristic of Zircon from Granitoids of the Verkhneurmiysky Massif (Amur Region) // *Minerals*. — 2021. — Vol. 11, no. 1. — P. 86. — DOI: [10.3390/min11010086](https://doi.org/10.3390/min11010086).
- Mashkoo R., Ahmadi H., Rahmani A. B., et al. Detecting Li-bearing pegmatites using geospatial technology: the case of SW Konar Province, Eastern Afghanistan // *Geocarto International*. — 2022. — Vol. 37, no. 26. — P. 14105–14126. — DOI: [10.1080/10106049.2022.2086633](https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2086633).
- Morozova L. N., Sokolova E. N., Smirnov S. Z., et al. Spodumene from rare-metal pegmatites of the Kolmozero lithium world-class deposit on the Fennoscandian shield: trace elements and crystal fluid inclusions // *Mineralogical Magazine*. — 2020. — Vol. 85, no. 2. — P. 149–160. — DOI: [10.1180/mgm.2020.104](https://doi.org/10.1180/mgm.2020.104).
- Mosazai A. M., Ahmadi H., Yousufi A. The Zoning Structure of the Rare - Metal Pegmatites of Afghanistan // *The 36th National and the 3rd International Geosciences Congress*. — Tehran, Iran : Iran Geological Survey, 2018. — P. 1–8.
- Mosazai A. M., Yousufi A., Ahmadi H. The geological characteristics and economical importance of pegmatite belt of Afghanistan // *Geologia i okhrana nedr*. — 2017. — Vol. 65, no. 4. — P. 26–33.

- Müller A., Reimer W., Wall F., et al. GREENPEG - exploration for pegmatite minerals to feed the energy transition: first steps towards the Green Stone Age // Geological Society, London, Special Publications. — 2022. — Vol. 526, no. 1. — P. 193–218. — DOI: [10.1144/sp526-2021-189](https://doi.org/10.1144/sp526-2021-189).
- Müller A., Simmons W., Beurlen H., et al. A proposed new mineralogical classification system for granitic pegmatites - Part I: History and the need for a new classification // The Canadian Mineralogist. — 2018. — Vol. 60, no. 2. — P. 203–227. — DOI: [10.3749/canmin.1700088](https://doi.org/10.3749/canmin.1700088).
- Orris G. J., Bliss J. D. Mines and Mineral Occurrences of Afghanistan. — Tucson, Arizona : U.S. Geological Survey, 2002.
- Peters S. G., Ludington S., Orris G. J., et al. Preliminary non-fuel mineral resource assessment of Afghanistan 2007. — U.S. Geological Survey, 2007. — DOI: [10.3133/ofr20071214](https://doi.org/10.3133/ofr20071214).
- Popov O., Talovina I., Lieberwirth H., et al. Quantitative Microstructural Analysis and X-ray Computed Tomography of Ores and Rocks-Comparison of Results // Minerals. — 2020. — Vol. 10, no. 2. — P. 129. — DOI: [10.3390/min10020129](https://doi.org/10.3390/min10020129).
- Rossovskiy L. N. Rare-metal pegmatites with precious stones and conditions of their formation (Hindu Kush) // International Geology Review. — 1981. — Vol. 23, no. 11. — P. 1312–1320. — DOI: [10.1080/00206818209467264](https://doi.org/10.1080/00206818209467264).
- Rossovskiy L. N., Chmyrev V. M. Distribution patterns of rare-metal pegmatites in the Hindu Kush (Afghanistan) // International Geology Review. — 1977. — Vol. 19, no. 5. — P. 511–520. — DOI: [10.1080/00206817709471047](https://doi.org/10.1080/00206817709471047).
- Rossovskiy L. N., Konovafenko S. I. Features of the formation of the rare-metal pegmatites under conditions of compression and tension (as exemplified by the Hindu Kush region) // International Geology Review. — 1979. — Vol. 21, no. 7. — P. 755–764. — DOI: [10.1080/00206818209467116](https://doi.org/10.1080/00206818209467116).
- Scibek J., Annesley I. R. Permeability Testing of Drill Core from Basement Rocks in the Fault-Hosted Gryphon U Deposit (Eastern Athabasca Basin, Canada): Insights into Fluid-Rock Interactions Related to Deposit Formation and Redistribution // Natural Resources Research. — 2021. — Vol. 30, no. 4. — P. 2909–2956. — DOI: [10.1007/s11053-021-09811-x](https://doi.org/10.1007/s11053-021-09811-x).
- Shroder J. F., Eqrar N., Waizy H., et al. Review of the Geology of Afghanistan and its water resources // International Geology Review. — 2021. — Vol. 64, no. 7. — P. 1009–1031. — DOI: [10.1080/00206814.2021.1904297](https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1904297).
- Siehl A. Structural setting and evolution of the Afghan orogenic segment - a review // Geological Society, London, Special Publications. — 2015. — Vol. 427, no. 1. — P. 57–88. — DOI: [10.1144/SP427.8](https://doi.org/10.1144/SP427.8).
- Singh Y., Rai S. D., Ainha R. P., et al. Lithium Pegmatites In Parts Of Bastar Craton, Central India // Exploration and Research for Atomic Minerals. — 1991. — Vol. 4, no. 1991. — P. 93–108.
- Sirbescu M.-L. C., Doran K., Konieczka V. A., et al. Trace element geochemistry of spodumene megacrystals: A combined portable-XRF and micro-XRF study // Chemical Geology. — 2023. — Vol. 621. — P. 121371. — DOI: [10.1016/j.chemgeo.2023.121371](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2023.121371).
- Skublov S. G., Hamdard N., Ivanov M. A., et al. Trace element zoning of colorless beryl from spodumene pegmatites of Pashki deposit (Nuristan province, Afghanistan) // Frontiers in Earth Science. — 2024. — Vol. 12. — DOI: [10.3389/feart.2024.1432222](https://doi.org/10.3389/feart.2024.1432222).
- Soret M., Larson K. P., Cottle J. M., et al. Mesozoic to Cenozoic tectono-metamorphic history of the South Pamir-Hindu Kush (Chitral, NW Pakistan): Insights from phase equilibria modelling, and garnet-monazite petrochronology // Journal of Metamorphic Geology. — 2019. — Vol. 37, no. 5. — P. 633–666. — DOI: [10.1111/jmg.12479](https://doi.org/10.1111/jmg.12479).
- Steiner B. Tools and Workflows for Grassroots Li-Cs-Ta (LCT) Pegmatite Exploration // Minerals. — 2019. — Vol. 9, no. 8. — P. 499. — DOI: [10.3390/min9080499](https://doi.org/10.3390/min9080499).
- Stewart B. D. Petrogenesis of lithium-rich pegmatites // American Mineralogist. — 1978. — Vol. 63, no. 9/10. — P. 970–980.
- Tadesse B., Makuei F., Albjanic B., et al. The beneficiation of lithium minerals from hard rock ores: A review // Minerals Engineering. — 2019. — Vol. 131. — P. 170–184. — DOI: [10.1016/j.mineng.2018.11.023](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.11.023).
- Tkachev A. V., Rundqvist D. V., Vishnevskaya N. A. Metallogeny of lithium through geological time // Russian Journal of Earth Sciences. — 2018. — Vol. 18, no. 6. — P. 1–13. — DOI: [10.2205/2018ES000635](https://doi.org/10.2205/2018ES000635).
- Yang Y., Zeng Z., King S. D., et al. Double-sided subduction with contrasting polarities beneath the Pamir-Hindu Kush: Evidence from focal mechanism solutions and stress field inversion // Geoscience Frontiers. — 2022. — Vol. 13, no. 4. — P. 101399. — DOI: [10.1016/j.gsf.2022.101399](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101399).
- Yosufzai A. Petrographic characteristics of the rocks on the right side of Kabul-Jalalabad highway in the Darunta area. — Kabul Polytechnic University, 2020. — (In Persian).

GEOLOGICAL POSITION OF RARE-METAL PEGMATITES OF THE LAGHMAN GRANITOID COMPLEX, AFGHANISTAN

A. N. Evdokimov¹  and A. Yosufzai^{*,1,2} ¹Empress Catherine II St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia²Kabul Polytechnic University, Kabul, Afghanistan

**Correspondence to: Ataullah Yosufzai, ata.yosufzai@gmail.com

Rare-metal pegmatites containing industrial concentrations of lithium, tantalum, niobium, cesium, beryllium, and tin are becoming increasingly important as raw material objects for the production of electrical equipment, batteries, and electronics. In this context, studying the patterns of their geological and structural setting is highly relevant, as it allows the identification of prospecting criteria to discover new resource-bearing sites and expand the reserves of known rare-metal pegmatite deposits in the Nuristan zone of northeastern Afghanistan. Here, pegmatite fields are spatially associated with the Oligocene granites of the Laghman complex and are located in the provinces of Afghanistan: Nuristan, Kunar, Laghman, Kabul, Nangarhar, Kapisa, Panjshir, and Badakhshan. They have been known since ancient times as sources of gemstones and mica. The Laghman granitoid complex is characterized by the sequential intrusion of three intrusive phases: 1 – diorites, quartz diorites, granodiorites, and plagiogranites; 2 – porphyritic biotite granites, amphibole-biotite granites, and granodiorites; 3 – two mica and biotite granites, granite porphyries, aplite, and pegmatoid granites. Rare-metal pegmatites are confined to the third phase of the Laghman granite intrusion. Here, granites are characterized by heterogeneous texture, from granoblastic to granitic, with fragments of aplitic and poikilitic texture. The host rocks of pegmatites are Triassic phyllite-like quartz-mica schists and Proterozoic gneisses and quartzites. Additionally, pegmatites are found within intrusive rocks, specifically within gabbro-diorites massifs of the Nilaw complex. The morphology of the bodies of rare-metal pegmatites is diverse. Veins with swells and plate-like bodies predominate, while lens-shaped forms and irregularly oriented veins are less common. The thickness of pegmatite veins ranges from 1 to 60 m, and their length varies from tens of meters to 2–5 km. It is assumed that the formation of the Laghman granitoid complex is a consequence of the collision of the Indian continent with Eurasia.

Keywords: Rare-metal pegmatites, geologic structure, Tectonic, spodumene, granitoid, granite, diorite, Nuristan, Afghanistan.

Citation: Evdokimov, A. N., A. Yosufzai (2025), Geological Position of Rare-Metal Pegmatites of the Laghman Granitoid Complex, Afghanistan, *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES1002, <https://doi.org/10.2205/2025ES000998>, EDN: CRXZQL

Received: 30 January 2024

Accepted: 5 February 2025

Published: 13 February 2025



© 2025. The Authors.

References

- Abdullah Sh., Chmyrev V. M., Dronov V. I. Geology and Mineral Resources of Afghanistan, Vol. 1 - Geology. — Moscow : Nedra, 1980. — (In Russian).
- Abdullah Sh., Chmyriov V. M., Dronov V. Geology and mineral resources of Afghanistan. 2nd ed. — London : British Geological Survey, 2008.
- Akbarpuran Kh. S., Gul'bin Yu. L., Sirotkin A. N., et al. Evolution of the composition of accessory minerals REE and Ti in metamorphic schists of the Atomfjella Series, Western Ny Friesland // *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*. — 2020. — Vol. 149, no. 5. — P. 1–28. — (In Russian).

- Alekseev R. S., Rebetsky Yu. L. A model of the evolution of the lithosphere of the Himalayan-Tibetan orogen // *Vestnik Kamchatskoy regional'noy assotsiatsii «Uchebno-nauchnyy tseñtr»*. Seriya: Nauki o Zemle. — 2021. — Vol. 4, no. 52. — P. 89–107. — DOI: [10.31431/1816-5524-2021-4-52-89-107](https://doi.org/10.31431/1816-5524-2021-4-52-89-107). — (In Russian).
- Alekseev V. I. Tectonic and magmatic factors of Li-F granites localization of the East of Russia // *Journal of Mining Institute*. — 2021. — Vol. 248. — P. 173–179. — DOI: [10.31897/PMI.2021.2.1](https://doi.org/10.31897/PMI.2021.2.1). — (In Russian).
- Alekseev V. I. Type intrusive series of the Far East belt of lithium-fluoric granites and its ore content // *Journal of Mining Institute*. — 2022. — Vol. 255, no. 3. — P. 377–392. — DOI: [10.31897/PMI.2022.21](https://doi.org/10.31897/PMI.2022.21). — (In Russian).
- Beskin S. M., Marin Y. B. Geodynamic types of rare-metal granite magmatism and associated ore deposits // *Journal of Mining Institute*. — 2013. — No. 200. — P. 155–162. — (In Russian).
- Beskin S. M., Marin Yu. B. Peculiarities of granite systems including rare-metal pegmatites // *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*. — 2019. — Vol. 148, no. 4. — P. 1–16. — DOI: [10.30695/zrmo/2019.1484.00](https://doi.org/10.30695/zrmo/2019.1484.00). — (In Russian).
- Bibienne T., Magnan J.-F., Rupp A., et al. From Mine to Mind and Mobiles: Society's Increasing Dependence on Lithium // *Elements*. — 2020. — Vol. 16, no. 4. — P. 265–270. — DOI: [10.2138/gselements.16.4.265](https://doi.org/10.2138/gselements.16.4.265).
- Burtman V. S. Geodynamics of the Pamir-Punjab Syntaxis // *Geotectonics*. — 2013. — Vol. 2013, no. 1. — P. 36–58. — DOI: [10.7868/s0016853x13010025](https://doi.org/10.7868/s0016853x13010025). — (In Russian).
- Cardoso-Fernandes J., Rodrigues C., Lima A., et al. Spectrometry Analysis Techniques for LCT Pegmatite Halo Identification: The Role of European Projects // *IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. — IEEE, 2022. — P. 6436–6439. — DOI: [10.1109/IGARSS46834.2022.9883663](https://doi.org/10.1109/IGARSS46834.2022.9883663).
- Černý P., Ercit T. S. The classification of granitic pegmatites revisited // *The Canadian Mineralogist*. — 2005. — Vol. 43. — P. 2005–2026.
- Chen L., Zhang N., Zhao T., et al. Lithium-Bearing Pegmatite Identification, Based on Spectral Analysis and Machine Learning: A Case Study of the Dahongliutan Area, NW China // *Remote Sensing*. — 2023. — Vol. 15, no. 2. — P. 493. — DOI: [10.3390/rs15020493](https://doi.org/10.3390/rs15020493).
- Cocker M. D. Chapter 24A. Summary for the Mineral Information Package for the Nuristan Rare-Metal Pegmatite Area of Interest // *Summaries of Important Areas for Mineral Investment and Production Opportunities of Nonfuel Minerals in Afghanistan*. — U.S. Geological Survey, 2011. — P. 1630–1653.
- Deng J., Li J., Zhang D., et al. Origin of pegmatitic melts from granitic magmas in the formation of the Jiajika lithium deposit in the eastern Tibetan Plateau // *Journal of Asian Earth Sciences*. — 2022. — Vol. 229. — P. 105147. — DOI: [10.1016/j.jseaes.2022.105147](https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2022.105147).
- Doebrich J. L., Wahl R. R., Chirico P. G., et al. Geologic and mineral resource map of Afghanistan. Scale 1 : 850,000. — U. S. Geological Survey, 2006.
- Egorov A. S., Prischepa O. M., Nefedov Y. V., et al. Deep Structure, Tectonics and Petroleum Potential of the Western Sector of the Russian Arctic // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2021. — Vol. 9, no. 3. — P. 258. — DOI: [10.3390/jmse9030258](https://doi.org/10.3390/jmse9030258).
- Fersman A. E., Ginzburg A. I. Pegmatites of the USSR. Volume 1. — Moscow-Leningrad : USSR Academy of Science, 1936. — (In Russian).
- Gavrilchik A. K., Skublov S. G., Kotova E. L. Features of trace element composition of beryl from the Uralian Izumrudnye kopi // *Mineralogiya*. — 2021. — P. 32–47. — DOI: [10.35597/2313-545x-2021-7-3-2](https://doi.org/10.35597/2313-545x-2021-7-3-2). — (In Russian).
- Gavrilchik A. K., Skublov S. G., Kotova E. L. Trace Element Composition of Beryl From the Sherlovaya Gora Deposit, Southeastern Transbaikal Region, Russia // *Geology of Ore Deposits*. — 2022. — Vol. 64, no. 7. — P. 442–451. — DOI: [10.1134/S1075701522070054](https://doi.org/10.1134/S1075701522070054).
- Ghasemi Siani M., Mehrabi B., Bayat S., et al. Geochronology, geochemistry and mineral chemistry of Malayer-Boroujerd-Shazand pegmatite dikes, Sanandaj-Sirjan zone, NW Iran // *International Journal of Earth Sciences*. — 2021. — Vol. 110, no. 4. — P. 1139–1167. — DOI: [10.1007/s00531-021-02009-9](https://doi.org/10.1007/s00531-021-02009-9).
- Ginzburg A. I., Timofeev I. N., Fel'dman L. G. Fundamentals of the geology of granite pegmatites. — Moscow : Nedra, 1979. — (In Russian).
- Gourcerol B., Gloaguen E., Melleton J., et al. Re-assessing the European lithium resource potential - A review of hard-rock resources and metallogeny // *Ore Geology Reviews*. — 2019. — Vol. 109. — P. 494–519. — DOI: [10.1016/j.oregeorev.2019.04.015](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.015).
- Gvozdenko T. A., Baksheev I. A., Khanin D. A., et al. Iron-bearing to iron-rich tourmalines from granitic pegmatites of the Murzinka pluton, Central Urals, Russia // *Mineralogical Magazine*. — 2022. — Vol. 86, no. 6. — P. 948–965. — DOI: [10.1180/mgm.2022.104](https://doi.org/10.1180/mgm.2022.104).

- Hanson S. L. A Tectonic Evaluation of Pegmatite Parent Granites // *The Canadian Mineralogist*. — 2016. — Vol. 54, no. 4. — P. 917–933. — DOI: [10.3749/canmin.1600010](https://doi.org/10.3749/canmin.1600010).
- Hayden H. H. The geology of northern Afghanistan. — Calcutta, India : Off. of the Geol. Survey of India, 1911.
- Jonsson E. Pegmatite-hosted lithium mineralisation in Sweden: an overview // *Lithium 200 years*. Mineralogical Society of Sweden. — Mineralogical Society of Sweden, 2018. — P. 12–15.
- Kavanagh L., Keohane J., Garcia Cabellos G., et al. Global Lithium Sources-Industrial Use and Future in the Electric Vehicle Industry: A Review // *Resources*. — 2018. — Vol. 7, no. 3. — P. 57. — DOI: [10.3390/resources7030057](https://doi.org/10.3390/resources7030057).
- Knoll T., Huet B., Schuster R., et al. Lithium pegmatite of anatectic origin - A case study from the Austroalpine Unit Pegmatite Province (Eastern European Alps): Geological data and geochemical modeling // *Ore Geology Reviews*. — 2023. — Vol. 154. — P. 105298. — DOI: [10.1016/j.oregeorev.2023.105298](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105298).
- Koopmans L., Martins T., Linnen R., et al. The formation of lithium-rich pegmatites through multi-stage melting // *Geology*. — 2023. — Vol. 52, no. 1. — P. 7–11. — DOI: [10.1130/G51633.1](https://doi.org/10.1130/G51633.1).
- Kuznetsova L. G., Shokalsky S. P., Sergeev S. A., et al. Age and composition of the early paleozoic magmatic associations and related rare-element pegmatites in the south-eastern part of the Sangilen block, Tuva-Mongolian massif // *Geodynamics & Tectonophysics*. — 2021. — Vol. 12, no. 2. — P. 261–286. — DOI: [10.5800/GT-2021-12-2-0524](https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0524).
- Labuntsov A. N. Geological and mineralogical explorations in the Western Pamirs in Badakhshan Province, Afghanistan in 1928 // *Pamir expedition. 1928. Expedition works. Issue IV. Mineralogy*. — Leningrad : USSR Academy of Sciences, 1930. — (In Russian).
- Levashova E., Skublov S., Hamdard N., et al. Geochemistry of Zircon from Pegmatite-bearing Leucogranites of the Laghman Complex, Nuristan Province, Afghanistan // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2024. — P. 1–13. — DOI: [10.2205/2024ES000916](https://doi.org/10.2205/2024ES000916). — (In Russian).
- Liu T., Wang H., Tian Sh., et al. Genesis of the Jiajika superlarge lithium deposit, Sichuan, China: constraints from He-Ar-H-O isotopes // *Acta Geochimica*. — 2023. — Vol. 42, no. 3. — P. 517–534. — DOI: [10.1007/s11631-023-00593-y](https://doi.org/10.1007/s11631-023-00593-y).
- London D., Burt D. M. Chemical models for lithium aluminosilicate stabilities in pegmatites and granites // *American Mineralogist*. — 1982. — Vol. 67, no. 5/6. — P. 494–509.
- Machevariani M. M., Alekseenko A. V., Bech J. Complex Characteristic of Zircon from Granitoids of the Verkhneurmisky Massif (Amur Region) // *Minerals*. — 2021. — Vol. 11, no. 1. — P. 86. — DOI: [10.3390/min11010086](https://doi.org/10.3390/min11010086).
- Mashkoor R., Ahmadi H., Rahmani A. B., et al. Detecting Li-bearing pegmatites using geospatial technology: the case of SW Konar Province, Eastern Afghanistan // *Geocarto International*. — 2022. — Vol. 37, no. 26. — P. 14105–14126. — DOI: [10.1080/10106049.2022.2086633](https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2086633).
- Morozova L. N. Lithium Kolmozero deposit of rare metal pegmatites: New data on rare element composition (Kola Peninsula) // *Litosfera*. — 2018. — Vol. 18, no. 1. — P. 82–98. — DOI: [10.24930/1681-9004-2018-18-1-082-098](https://doi.org/10.24930/1681-9004-2018-18-1-082-098). — (In Russian).
- Morozova L. N., Serov P. A., Kunakkuzin E. L., et al. Kola rare-metal pegmatite belt: main features of geological structure // *Trudy Fersmanovskoi Nauchnoi Sessii GI KNTs RAN*. — 2020a. — Vol. 17. — P. 374–378. — DOI: [10.31241/FNS.2020.17.071](https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.071). — (In Russian).
- Morozova L. N., Sokolova E. N., Smirnov S. Z., et al. Spodumene from rare-metal pegmatites of the Kolmozero lithium world-class deposit on the Fennoscandian shield: trace elements and crystal-rich fluid inclusions // *Mineralogical Magazine*. — 2020b. — Vol. 85, no. 2. — P. 149–160. — DOI: [10.1180/mgm.2020.104](https://doi.org/10.1180/mgm.2020.104).
- Mosazai A. M., Ahmadi H., Yousufi A. The Zoning Structure of the Rare - Metal Pegmatites of Afghanistan // *The 36th National and the 3rd International Geosciences Congress*. — Tehran, Iran : Iran Geological Survey, 2018. — P. 1–8.
- Mosazai A. M., Yousufi A., Ahmadi H. The geological characteristics and economical importance of pegmatite belt of Afghanistan // *Geologia i okhrana nedr*. — 2017. — Vol. 65, no. 4. — P. 26–33.
- Müller A., Reimer W., Wall F., et al. GREENPEG - exploration for pegmatite minerals to feed the energy transition: first steps towards the Green Stone Age // *Geological Society, London, Special Publications*. — 2022. — Vol. 526, no. 1. — P. 193–218. — DOI: [10.1144/sp526-2021-189](https://doi.org/10.1144/sp526-2021-189).
- Müller A., Simmons W., Beurlen H., et al. A proposed new mineralogical classification system for granitic pegmatites - Part I: History and the need for a new classification // *The Canadian Mineralogist*. — 2018. — Vol. 60, no. 2. — P. 203–227. — DOI: [10.3749/canmin.1700088](https://doi.org/10.3749/canmin.1700088).
- Musazai A. M. Mineral types, zoning, and genetic features of Cenozoic rare-metal pegmatites of the Afghan Pegmatite Belt. Avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk. — Moscow : Moscow State University, 1988. — (In Russian).
- Ogorodnikov V. N., Polenov Yu. A., Kisin A. Yu., et al. Granite pegmatites and pegmatoids of the Urals. — Ekaterinburg : UrB RAS, 2020. — (In Russian).
- Orris G. J., Bliss J. D. *Mines and Mineral Occurrences of Afghanistan*. — Tucson, Arizona : U.S. Geological Survey, 2002.

- Peters S. G., Ludington S., Orris G. J., et al. Preliminary non-fuel mineral resource assessment of Afghanistan 2007. — U.S. Geological Survey, 2007. — DOI: [10.3133/ofr20071214](https://doi.org/10.3133/ofr20071214).
- Popov O., Talovina I., Lieberwirth H., et al. Quantitative Microstructural Analysis and X-ray Computed Tomography of Ores and Rocks-Comparison of Results // *Minerals*. — 2020. — Vol. 10, no. 2. — P. 129. — DOI: [10.3390/min10020129](https://doi.org/10.3390/min10020129).
- Rebetsky Yu. L., Alekseev R. S. The field of recent tectonic stresses in Central and South-Eastern Asia // *Geodynamics & Tectonophysics*. — 2014. — Vol. 5, no. 1. — P. 257–290. — DOI: [10.5800/GT-2014-5-1-0127](https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0127). — (In Russian).
- Rossovskiy L. N. Rare-metal pegmatites with precious stones and conditions of their formation (Hindu Kush) // *International Geology Review*. — 1981. — Vol. 23, no. 11. — P. 1312–1320. — DOI: [10.1080/00206818209467264](https://doi.org/10.1080/00206818209467264).
- Rossovskiy L. N., Chmyrev V. M. Distribution patterns of rare-metal pegmatites in the Hindu Kush (Afghanistan) // *International Geology Review*. — 1977. — Vol. 19, no. 5. — P. 511–520. — DOI: [10.1080/00206817709471047](https://doi.org/10.1080/00206817709471047).
- Rossovskiy L. N., Konovafenko S. I. Features of the formation of the rare-metal pegmatites under conditions of compression and tension (as exemplified by the Hindu Kush region) // *International Geology Review*. — 1979. — Vol. 21, no. 7. — P. 755–764. — DOI: [10.1080/00206818209467116](https://doi.org/10.1080/00206818209467116).
- Rossovskiy L. N., Nuiskov Yu. I., Chmyrev V. M., et al. Rare-metal pegmatites of Afghanistan (Report on the Results of Prospecting Carried out in 1971-1973). — Kabul : USSR: «TECHNOEXPORT», Republic of Afghanistan: Ministry of Mining, Industry, Department of Prospecting, Exploration of Minerals, 1974. — (In Russian).
- Rudnev S. N., Babin A., Ponomarchuk A., et al. Composition and age constraints on the formation of granitoids of the Western Sayan // *Lithosphaera*. — 2009. — No. 1. — P. 23–46. — (In Russian).
- Sahak N. Formation affiliation of geological-industrial types, ores, and metallogenic significance of Cenozoic pegmatites of Afghanistan: Avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk. — Moscow : Moscow State University, 1988. — (In Russian).
- Scibek J., Annesley I. R. Permeability Testing of Drill Core from Basement Rocks in the Fault-Hosted Gryphon U Deposit (Eastern Athabasca Basin, Canada): Insights into Fluid-Rock Interactions Related to Deposit Formation and Redistribution // *Natural Resources Research*. — 2021. — Vol. 30, no. 4. — P. 2909–2956. — DOI: [10.1007/s11053-021-09811-x](https://doi.org/10.1007/s11053-021-09811-x).
- Shroder J. F., Eqrar N., Waizy H., et al. Review of the Geology of Afghanistan and its water resources // *International Geology Review*. — 2021. — Vol. 64, no. 7. — P. 1009–1031. — DOI: [10.1080/00206814.2021.1904297](https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1904297).
- Siehl A. Structural setting and evolution of the Afghan orogenic segment - a review // *Geological Society, London, Special Publications*. — 2015. — Vol. 427, no. 1. — P. 57–88. — DOI: [10.1144/SP427.8](https://doi.org/10.1144/SP427.8).
- Simonov V. A. Physico-chemical parameters of mineral-forming processes in pegmatites of the ilmenogorsk alkaline complex (South Urals) and Altai-Sayany Region (Siberia) // *Mineralogiya*. — 2020. — P. 100–111. — DOI: [10.35597/2313-545x-2020-6-2-7](https://doi.org/10.35597/2313-545x-2020-6-2-7). — (In Russian).
- Singh Y., Rai S. D., Ainha R. P., et al. Lithium Pegmatites In Parts Of Bastar Craton, Central India // *Exploration and Research for Atomic Minerals*. — 1991. — Vol. 4, no. 1991. — P. 93–108.
- Sirbescu M.-L. C., Doran K., Konieczka V. A., et al. Trace element geochemistry of spodumene megacrystals: A combined portable-XRF and micro-XRF study // *Chemical Geology*. — 2023. — Vol. 621. — P. 121371. — DOI: [10.1016/j.chemgeo.2023.121371](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2023.121371).
- Skublov S. G., Hamdard N., Ivanov M. A., et al. Trace element zoning of colorless beryl from spodumene pegmatites of Pashki deposit (Nuristan province, Afghanistan) // *Frontiers in Earth Science*. — 2024. — Vol. 12. — DOI: [10.3389/feart.2024.1432222](https://doi.org/10.3389/feart.2024.1432222).
- Slavin V. I. Tectonics of Afghanistan. — Moscow : Nedra, 1976. — (In Russian).
- Slavin V. I., Mirzad S. Kh. Tectonic zoning of Afghanistan // *Sovetskaya Geologiya*. — 1963. — Vol. 4. — P. 68–81. — (In Russian).
- Solodov N. A. Internal structure and geochemistry of rare-metal granite pegmatites. — Moscow : USSR Academy of Sciences, 1962. — (In Russian).
- Soret M., Larson K. P., Cottle J. M., et al. Mesozoic to Cenozoic tectono-metamorphic history of the South Pamir-Hindu Kush (Chitral, NW Pakistan): Insights from phase equilibria modelling, and garnet-monazite petrochronology // *Journal of Metamorphic Geology*. — 2019. — Vol. 37, no. 5. — P. 633–666. — DOI: [10.1111/jmg.12479](https://doi.org/10.1111/jmg.12479).
- Stazhilo-Alekseev K. F. Magmatism and Endogenous Metallogeny of Afghanistan. — Moscow : Zarubezhgeologiya, 2012. — (In Russian).
- Steiner B. Tools and Workflows for Grassroots Li-Cs-Ta (LCT) Pegmatite Exploration // *Minerals*. — 2019. — Vol. 9, no. 8. — P. 499. — DOI: [10.3390/min9080499](https://doi.org/10.3390/min9080499).
- Stewart B. D. Petrogenesis of lithium-rich pegmatites // *American Mineralogist*. — 1978. — Vol. 63, no. 9/10. — P. 970–980.

- Tadesse B., Makuei F., Albjanic B., et al. The beneficiation of lithium minerals from hard rock ores: A review // *Minerals Engineering*. — 2019. — Vol. 131. — P. 170–184. — DOI: [10.1016/j.mineng.2018.11.023](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.11.023).
- Tkachev A. V., Rundqvist D. V., Vishnevskaya N. A. Metallogeny of lithium through geological time // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2018. — Vol. 18, no. 6. — P. 1–13. — DOI: [10.2205/2018ES000635](https://doi.org/10.2205/2018ES000635).
- Tkachev A. V., Rundqvist D. V., Vishnevskaya N. A. Specific features of supercontinent cycles in the metallogeny of tantalum // *Doklady Akademii Nauk*. — 2019. — Vol. 486, no. 1. — P. 69–73. — DOI: [10.31857/S0869-5652486169-73](https://doi.org/10.31857/S0869-5652486169-73). — (In Russian).
- Trifonov V. G., Sokolov S. Yu., Bachmanov D. M., et al. Neotectonics and the Upper Mantle Structure of Central Asia // *Geotectonics*. — 2021. — Vol. 55, no. 3. — P. 334–360. — DOI: [10.1134/S0016852121030080](https://doi.org/10.1134/S0016852121030080).
- Vinnichenko G. P. *Tectonics of Central Pamir*. — Dushanbe : Donish, 1979. — (In Russian).
- Yang Y., Zeng Z., King S. D., et al. Double-sided subduction with contrasting polarities beneath the Pamir-Hindu Kush: Evidence from focal mechanism solutions and stress field inversion // *Geoscience Frontiers*. — 2022. — Vol. 13, no. 4. — P. 101399. — DOI: [10.1016/j.gsf.2022.101399](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101399).
- Yarmolyuk V. V., Kuz'min M. I., Vorontsov A. A. Convergent boundaries of the Western Pacific type and their role in the formation of the Central Asian Fold Belt // *Geology and Geophysics*. — 2013. — Vol. 54, no. 12. — P. 1831–1850. — (In Russian).
- Yosufzai A. *Petrographic characteristics of the rocks on the right side of Kabul-Jalalabad highway in the Darunta area*. — Kabul Polytechnic University, 2020. — (In Persian).
- Zagorsky V. E., Vladimirov A. G., Makagon V. M., et al. Large fields of spodumene pegmatites in the settings of rifting and postcollisional shear-pull-apart dislocations of continental lithosphere // *Geologiya i Geofizika*. — 2014. — Vol. 2. — P. 303–322. — (In Russian).